



# Dalbodemberging Geuldal

Civieltechnische uitwerking Dalbodemberging Valkenburg en Volmolen

WRL

3 februari 2026

Project Dalbodemberging Geuldal  
Opdrachtgever WRL

Document Civieltechnische uitwerking Dalbodemberging Valkenburg en Volmolen  
Status Definitief 02  
Datum 3 februari 2026  
Referentie 147535/26-001.526

Projectcode 147535  
Projectleider Ir. R.B.M. Peters  
Projectdirecteur Ir. R. Bouw

Auteur(s) Ir. M.M.A. Schippers  
Gecontroleerd door Ir. R.J.R. Wannyn  
Goedgekeurd door Ir. R.B.M. Peters

Paraaf



Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.  
Leeuwenbrug 8  
Postbus 233  
7400 AE Deventer  
+31 (0)570 69 79 11  
[www.witteveenbos.com](http://www.witteveenbos.com)  
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos, noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Tekst- en datamining van (delen van) dit document, evenals enige verwerking of reproductie ervan door middel van kunstmatige intelligentie technologieën is uitdrukkelijk niet toegestaan, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Dit document (of delen ervan) mag niet worden veeleenvoudigd en/of anderszins worden gebruikt op enigerlei wijze voor het trainen van kunstmatige intelligentie technologieën, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

## INHOUDSOPGAVE

|          |                                                       |           |
|----------|-------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INLEIDING</b>                                      | <b>5</b>  |
| 1.1      | Project Dalbodemberging en doel rapportage            | 5         |
| 1.2      | Leeswijzer                                            | 5         |
| <b>2</b> | <b>ONTWERPEISEN</b>                                   | <b>6</b>  |
| 2.1      | Valkenburg                                            | 6         |
| 2.2      | Volmolen                                              | 7         |
| <b>3</b> | <b>BESCHOUWDE VARIANTEN DOORLAATMIDDEL</b>            | <b>8</b>  |
| <b>4</b> | <b>HYDRAULISCHE ANALYSE</b>                           | <b>10</b> |
| 4.1      | Methode en uitgangspunten                             | 10        |
| 4.1.1    | Hydraulische randvoorwaarden                          | 10        |
| 4.1.2    | Methode bepaling debiet door doorlaat                 | 12        |
| 4.1.3    | Hoogte overlaat                                       | 15        |
| 4.1.4    | Inschatting benodigde afmetingen doorlaatmiddelen     | 17        |
| 4.1.5    | Locatie en volume berging                             | 18        |
| 4.2      | Effect doorlaat op doorgelaten debiet                 | 20        |
| 4.3      | Effect doorlaatmiddel op beschikbaar bergingsvolume   | 21        |
| 4.3.1    | Algemeen                                              | 21        |
| 4.3.2    | Toelichting op beschikbaar bergingsvolume             | 22        |
| 4.3.3    | Analyse beschikbaar bergingsvolume                    | 22        |
| 4.4      | Uitwerking maatvoering en risico's regelbare doorlaat | 24        |
| 4.4.1    | Toelichting op maatvoering regelbare doorlaat         | 24        |
| 4.4.2    | Toelichting op risico van regelbare doorlaat          | 25        |
| 4.4.3    | Maatvoering en risico geregelde doorlaat Volmolen     | 26        |
| 4.4.4    | Maatvoering en risico geregelde doorlaat Valkenburg   | 28        |
| <b>5</b> | <b>CIVIELTECHNISCHE UITWERKING OP HOOFDLIJNEN</b>     | <b>31</b> |
| 5.1      | Opbouw dam                                            | 31        |
| 5.2      | Opbouw doorlaatmiddel                                 | 32        |
| 5.2.1    | Breedte en materiaalkeuze van de schuiven             | 32        |
| 5.2.2    | Type bewegingswerk                                    | 32        |

|          |                                                  |                        |
|----------|--------------------------------------------------|------------------------|
| 5.2.3    | Doorlaatkoker                                    | 34                     |
| 5.3      | Kosteninschatting                                | 35                     |
| 5.4      | Beheeraspecten                                   | 37                     |
| 5.4.1    | Beheer van de dam                                | 37                     |
| 5.4.2    | Beheer van het doorlaatmiddel                    | 37                     |
| <b>6</b> | <b>ANALYSE KADERS EN OMGEVINGSASPECTEN</b>       | <b>40</b>              |
| 6.1      | Volmolen                                         | 40                     |
| 6.2      | Valkenburg                                       | 44                     |
| 6.3      | Gebiedsoverkoepelende aspecten                   | 47                     |
| 6.4      | Conclusie                                        | 49                     |
| <b>7</b> | <b>MULTICRITERIA ANALYSE</b>                     | <b>50</b>              |
| 7.1      | Criteria                                         | 50                     |
| 7.2      | Multicriteria tabel                              | 50                     |
| 7.3      | Conclusies uit MCA                               | 52                     |
| <b>8</b> | <b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>               | <b>54</b>              |
| 8.1      | Conclusies hydraulische analyse                  | 54                     |
| 8.2      | Aanbevelingen Hydraulisch ontwerp                | 55                     |
| 8.3      | Conclusies en aanbevelingen schetsontwerp        | 57                     |
|          | <a href="#">Laatste pagina</a>                   | 57                     |
|          | <b>Bijlage(n)</b>                                | <b>Aantal pagina's</b> |
| I        | Afvoergolf 1 locatie Valkenburg - vaste doorlaat | 15                     |
| II       | Afvoergolf 2 locatie Valkenburg - vaste doorlaat | 22                     |
| III      | Afvoergolf 1 locatie Volmolen - vaste doorlaat   | 15                     |
| IV       | Afvoergolf 2 locatie Volmolen - vaste doorlaat   | 22                     |
| V        | Bergingskromme locatie Volmolen                  | 3                      |
| VI       | Bergingskromme locatie Valkenburg                | 2                      |
| VII      | Q-h relatie Volmolen                             | 1                      |
| VIII     | Q-h relatie Valkenburg                           | 1                      |
| IX       | D-HYDRO modellering vaste en regelbare doorlaat  | 5                      |
| X        | Tekening Schetsontwerp Volmolen                  | 2                      |
| XI       | Tekening Schetsontwerp Valkenburg                | 3                      |

## INLEIDING

### 1.1 Project Dalbodemberging en doel rapportage

Het programma Waterveiligheid en Ruimte Limburg (WRL) werkt toe naar één bestuurlijk besluit over een pakket van maatregelen voor het hele stroomgebied van de geul. De keuzes worden gebaseerd op een brede, integrale verkenning. Binnen een lopende voorverkenning naar dalbodemberging worden met behulp van modelberekeningen de voordelen van dalbodemberging op systeemniveau onderzocht.

Witteveen+Bos is gevraagd om te concentreren op de uitwerking van de dwarsdammen en bijbehorende doorlaatmiddelen. Voor twee specifieke locaties, Valkenburg en Volmolen, is een schetsontwerp gemaakt. Deze locaties zijn gekozen vanwege hun verschillende doorlaatdebieten, wat waardevolle inzichten kan opleveren in diverse omstandigheden. De ontwerpen zijn vervolgens beschouwd op hydraulisch functioneren, civieltechnische aspecten, beheer en kosten.

De resultaten van deze opdracht worden samen met de voorverkenning gebruikt voor een uitgebreide verkenning om dalbodemberging in het hele stroomgebied van de geul te optimaliseren.

### 1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft de ontwerpeisen die vanuit WRL zijn meegegeven en onderling zijn afgestemd. De beschouwde varianten voor de constructies zijn opgenomen in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 is de hoofdmoot van dit rapport en omhelst de volledige hydraulische analyse en de hieruit volgende maatvoering voor de dam en het doorlaatmiddel. In hoofdstuk 5 is de civieltechnische uitwerking van de dammen en doorlaatmiddelen beschreven. In hoofdstuk 6 is vervolgens een analyse toegevoegd voor de kaders en omgevingsaspecten. Hoofdstuk 7 geeft vervolgens de Multicriteria-analyse waarin de verschillende doorlaatmiddelen tegen elkaar zijn afgewogen. Het rapport is afgesloten in hoofdstuk 8 met de conclusies en aanbevelingen.

# 2

## ONTWERPEISEN

Er zijn twee locaties beschouwd in deze verkenning: Valkenburg en de Volmolen. Deze locaties zijn door WRL geselecteerd om uit te werken als voorbeeldlocaties en zodoende zijn de gehanteerde uitgangspunten ook niet bindend voor een vervolg van dit project. De conclusies die volgen uit de verkenning van deze voorbeeldlocaties kunnen worden gebruikt om inzicht te verkrijgen in de mogelijke effectiviteit van de bergingen op (allerlei) verschillende locaties in het Geuldal.

Voor elk van deze twee geselecteerde voorbeeldlocaties is een set met ontwerpeisen meegegeven. In dit hoofdstuk zijn per locatie de ontwerpeisen meegegeven.

### 2.1 Valkenburg

Om het debiet door het centrum van Valkenburg te reguleren is stroomopwaarts een dam toegepast. Het tracé is getoond in afbeelding 2.1. Een aanvullende oplossing voor het reguleren van het debiet is de tunnel bypass, waarvan de opties ook in de afbeelding zijn weergegeven. In de beschouwing van de dalbodemberging is het al dan niet aanwezig zijn van de tunnel niet meegenomen.

Afbeelding 2.1 Tracé van de dam (rood)



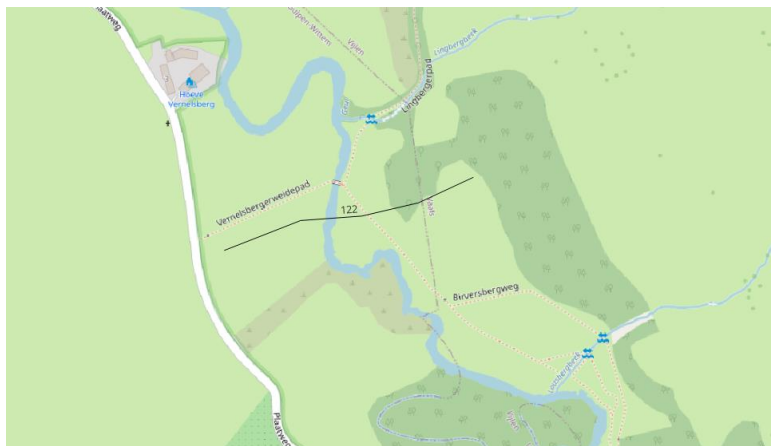
De ontwerpeisen voor de dam in Valkenburg zijn hieronder genoteerd:

- maximum doorlaatdebiet:  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- het maximale waterpeil is NAP +72,0 m;
- de overlaat moet een overlaatdebiet van  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  kunnen verwerken;
- de overlaat moet zo laat mogelijk in werking treden;
- de overlaat moet zodanig gepositioneerd worden dat er geen nieuwe problemen ontstaan benedenstrooms, maar ook zo dicht mogelijk bij de hoge grond zodat de overlaat in een minder hoog deel van de dam zit en het risico op erosie van het overlaattalud zo klein mogelijk is;
- vastleggen van de beekloop is alleen toegestaan ter hoogte van de dam;
- vismigratie voorbij de dam moet mogelijk blijven;
- hellingshoek van het damtalud is tussen 1:5 en 1:3. Uitgangspunt is 1:3;
- de dam is volledig bekleed met gras, behalve indien lokaal nodig voor de overlaatvoorziening;
- bij normale afvoeren moet het opstuwende effect zo klein mogelijk zijn.

## 2.2 Volmolen

Om het debiet door het centrum van Valkenburg te reguleren is stroomopwaarts een dam toegepast. Het tracé is getoond in afbeelding 2.2.

Afbeelding 2.2 Tracé van de dam bij de Volmolen



Bij de Volmolen zijn de volgende ontwerpeisen meegegeven:

- maximum doorlaatdebiet:  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- het maximale waterpeil is NAP +121,5 m;
- de overlaat moet een overlaatdebiet van  $35 \text{ m}^3/\text{s}$  kunnen verwerken;
- de overlaat moet zo laat mogelijk in werking treden;
- de overlaat moet zodanig gepositioneerd worden dat er geen nieuwe problemen ontstaan benedenstrooms, maar ook zo dicht mogelijk bij de hoge grond zodat de overlaat in een minder hoog deel van de dam zit en het risico op erosie zo klein mogelijk is;
- vastleggen van de beekloop is alleen toegestaan ter hoogte van de dam;
- vismigratie voorbij de dam moet mogelijk blijven;
- hellingshoek van het damtalud is tussen 1:5 en 1:3. Uitgangspunt is 1:3;
- de dam is volledig bekleed met gras, behalve indien lokaal nodig voor de overlaatvoorziening;
- bij normale afvoeren moet het opstuwende effect zo klein mogelijk zijn.

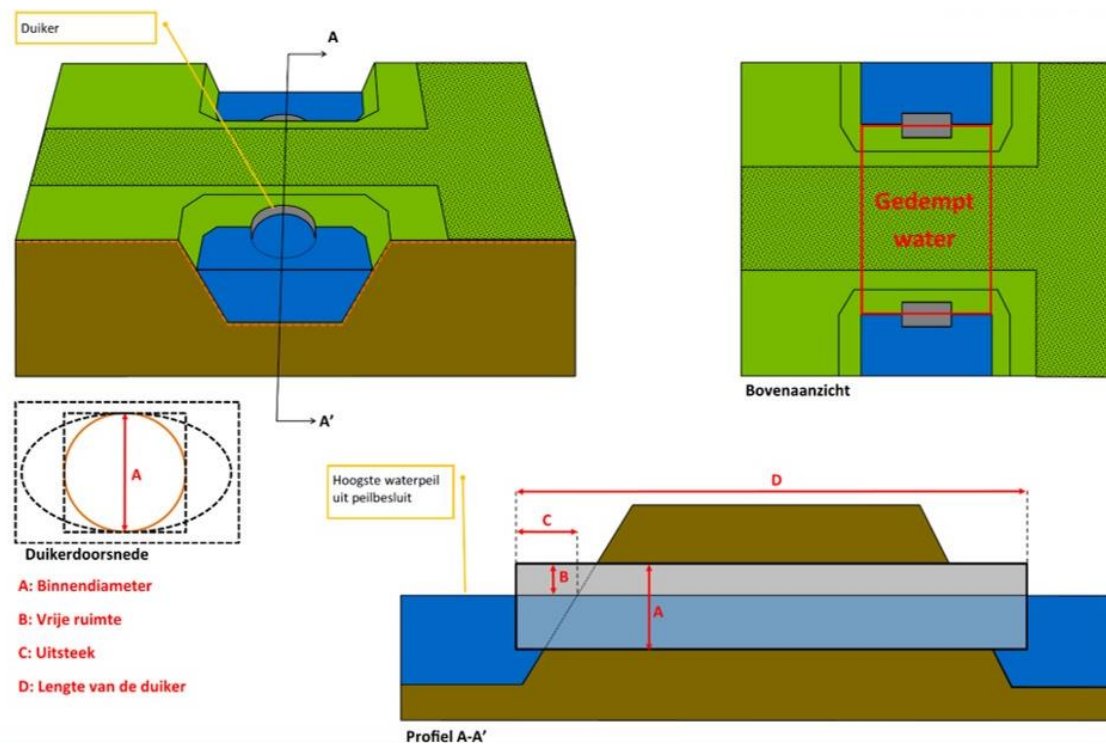
## BESCHOUWDE VARIANTEN DOORLAATMIDDEL

In deze rapportage zijn een tweetal varianten voor het doorlaatmiddel in detail beschouwd: een vaste doorlaat en een direct regelbare doorlaat. Er is een korte analyse uitgevoerd voor een geulvernauwende dam, die enkel de breedte van de geul beperkt, waaruit blijkt dat deze optie niet realistisch is.

### Variant 1: vaste doorlaat

Een vaste opening in de dam die continu een vast debiet doorlaat. Dit is bijvoorbeeld een betonnen koker, waarvan de benodigde afmetingen vooraf zijn bepaald.

Afbeelding 3.1 Vaste doorlaat, principes



Afbeelding 3.2 Voorbeeld vaste doorlaat (Jonenbach, Zwitserland)<sup>1</sup>



#### Variant 2: direct regelbare schuif

Een doorlaat met een (elektrisch) bedienbare schuif die tijdens een hoogwatergolf op afstand kan worden aangepast. Hiermee kan het debiet dynamisch geregeld worden.

Afbeelding 3.3 Voorbeeld doorlaatwerk Lohmar Duitsland<sup>2</sup>



<sup>1</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Jonenbach\\_flood\\_retention\\_basin](https://en.wikipedia.org/wiki/Jonenbach_flood_retention_basin).

<sup>2</sup> <https://www.lohmar.de/buergerservice-aktuelles-verwaltung-und-rat/aktuelles/detail/pm6190-hochwasserrueckhaltebecken-jabach-feierliche-einweihung/>.

# 4

## HYDRAULISCHE ANALYSE

De hydraulische analyse heeft als doel om het hydraulisch functioneren van de varianten van het doorlaatmiddel te kunnen vergelijken. Deze informatie wordt gebruikt in de multicriteria-analyse (hoofdstuk 7). De hydraulische analyse richt zich op twee aspecten:

- 1 wat is de invloed van de varianten op het debiet in de geul?
- 2 wat is de invloed van de varianten op het functioneren van het bergingsgebied?

In deze fase van het project is op basis van analytische formules het doorlaatdebiet bepaald voor de varianten.

In paragraaf 4.1 worden de methode en uitgangspunten van de hydraulische analyse toegelicht. Paragraaf 4.2 gaat in op de invloed van de doorlaatmiddelen op het debiet in de rivier. De invloed van de varianten op het beschikbaar volume in het bergingsgebied wordt toegelicht in paragraaf 4.3. De maatvoering en risico's bij een regelbare doorlaat worden beschreven in paragraaf 4.4.

In dit hoofdstuk wordt de huidige situatie zonder dam beschouwd als de referentiesituatie.

### 4.1 Methode en uitgangspunten

In deze paragraaf worden de methode en uitgangspunten beschreven die zijn gebruikt voor de hydraulische analyse. De hydraulische randvoorwaarden worden toegelicht in paragraaf 4.1.1. Paragraaf 4.1.2 beschrijft de formules die zijn gebruikt om het debiet door de doorlaat te berekenen. Om de werking van de doorlaatmiddelen te kunnen vergelijken, worden aannames gedaan voor de afmetingen. Paragraaf 4.1.3 beschrijft de hoogte van de overlaat en paragraaf 4.1.4 de afmetingen van de doorlaat die als uitgangspunt zijn gehanteerd. In paragraaf 4.1.5 worden de uitgangspunten wat betreft de locatie en het volume van het bergingsgebied toegelicht.

#### 4.1.1 Hydraulische randvoorwaarden

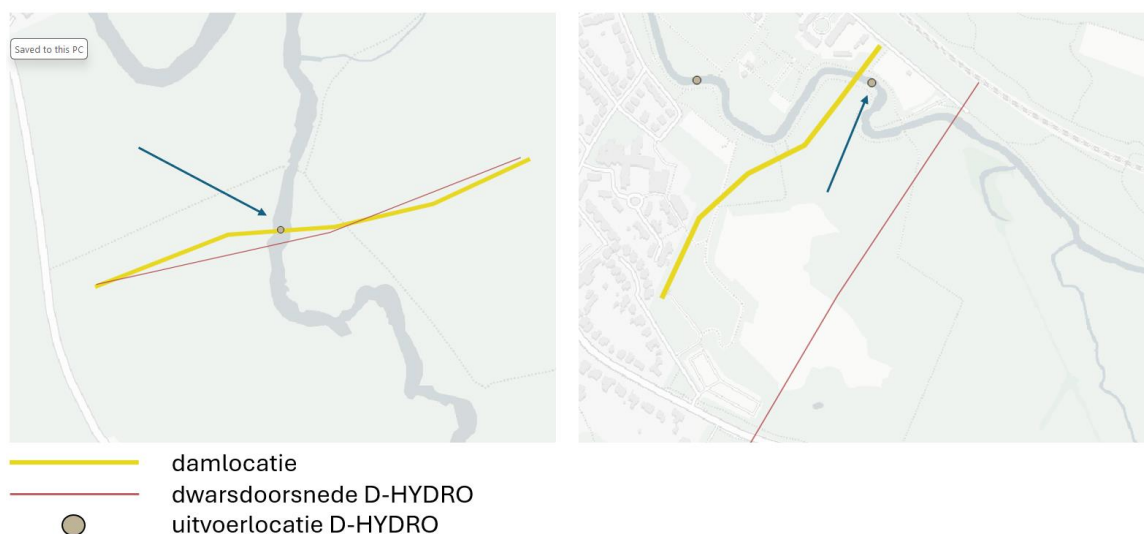
Voor de analytische berekeningen is gebruik gemaakt van twee afvoergolven die aangeleverd zijn door WRL:

- de hoogwatergolf uit juli 2021 (hierna: golf 1);
- een lagere hoogwatergolf (hierna: golf 2).

Van deze golven wordt zowel het debietverloop gebruikt voor de hydraulische analyse als de relatie tussen debiet en waterstand om inzicht te kunnen geven in het functioneren van de doorlaten bij zowel lagere als hoge afvoeren.

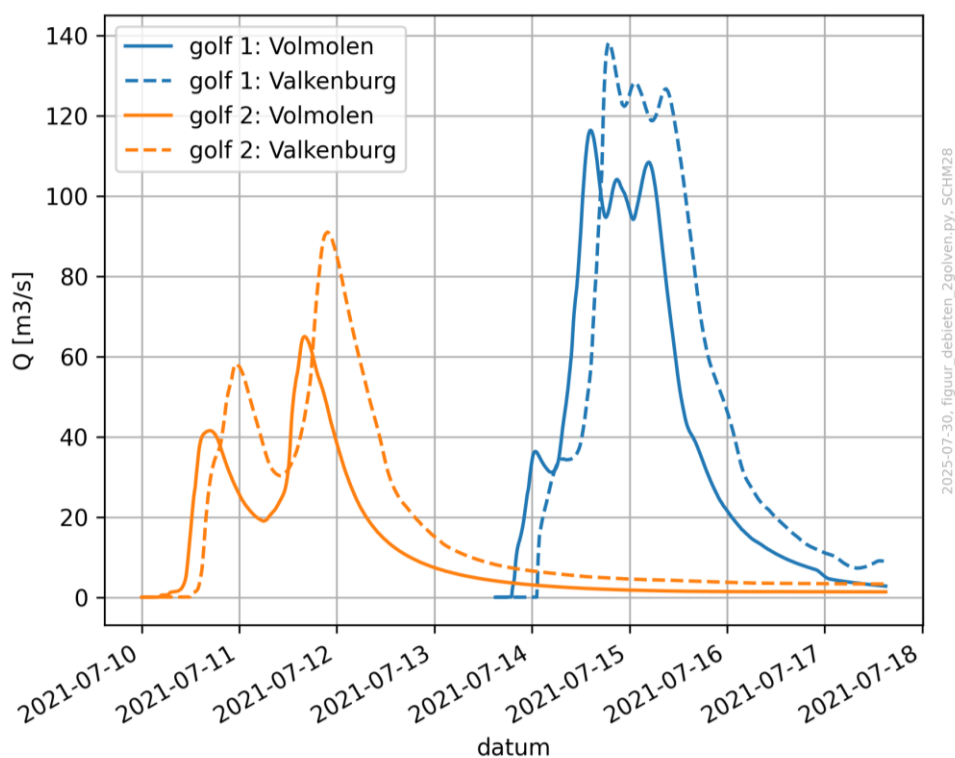
Van beide situaties zijn randvoorwaarden voor een D-HYDRO 1D2D model aangeleverd. Hiermee zijn simulaties uitgevoerd van de referentiesituatie. Op dwarsdoorsneden bovenstrooms van de twee onderzochte projectlocaties is het debiet en de waterstand bepaald. Afbeelding 4.1 toont de locatie van de uitvoerpunten en dwarsdoorsneden nabij de projectlocaties waarop het debiet en de waterstand zijn bepaald.

Afbeelding 4.1 Locatie dwarsdoorsneden en uitvoerlocaties D-HYDRO gebruikt voor hydraulische analyse (links: locatie Volmolen, rechts: locatie Valkenburg<sup>1</sup>)



Afbeelding 4.2 toont het debiet op de twee locaties voor beide afvoergolven. De eerste golf heeft een hogere piekafvoer dan de tweede golf. De piekafvoer treedt bij Valkenburg een paar uur later op dan bij de locatie Volmolen, omdat Valkenburg zich benedenstrooms van de locatie Volmolen bevindt. Vanwege de uitstroom van laterale beken is de piekafvoer bij Valkenburg ook hoger dan bij de locatie Volmolen.

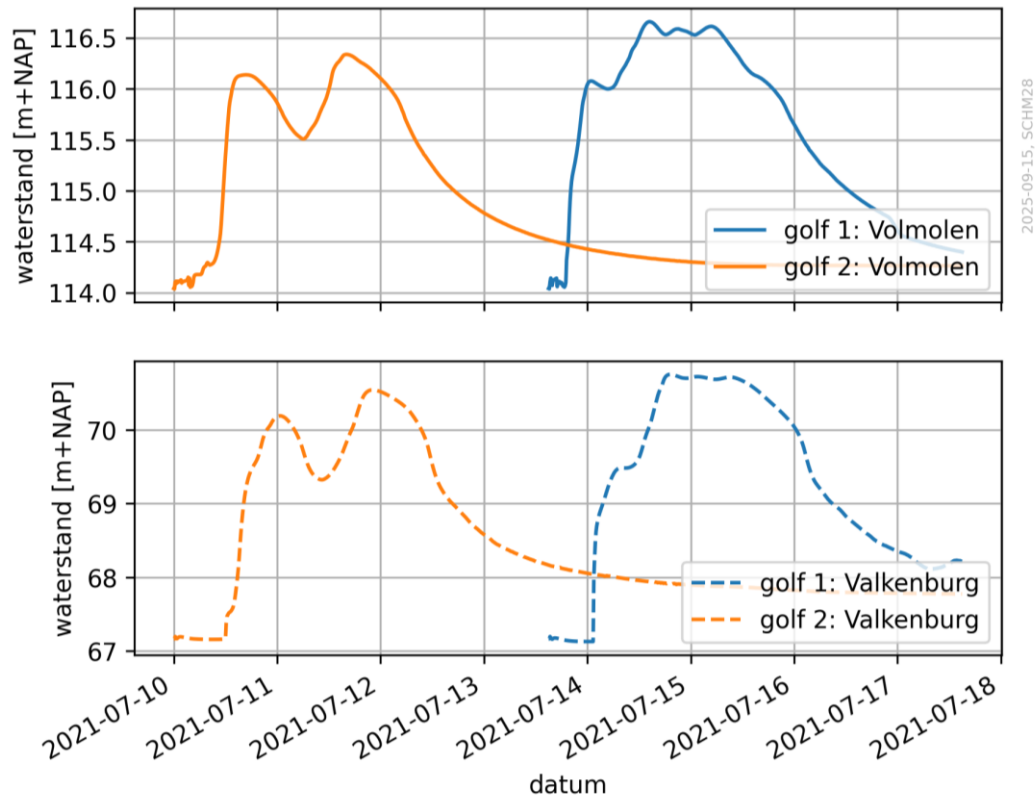
Afbeelding 4.2 Debiet net bovenstrooms van projectlocatie voor golf 1 (hoogwater juli 2021) en golf 2 (lagere afvoergolf)



<sup>1</sup> De dwarsdoorsnede bij Valkenburg is iets bovenstrooms van de locatie van de dam gedefinieerd, zodat de doorsnede niet in een bocht van de Geul gedefinieerd is.

Afbeelding 4.3 toont de waterstand op de twee locaties voor beide afvoergolven. Golf 1 resulteert in een hogere waterstand dan golf 2.

Afbeelding 4.3 Waterstand ter hoogte van projectlocatie voor golf 1 (hoogwater juli 2021) en golf 2 (lagere afvoergolf)

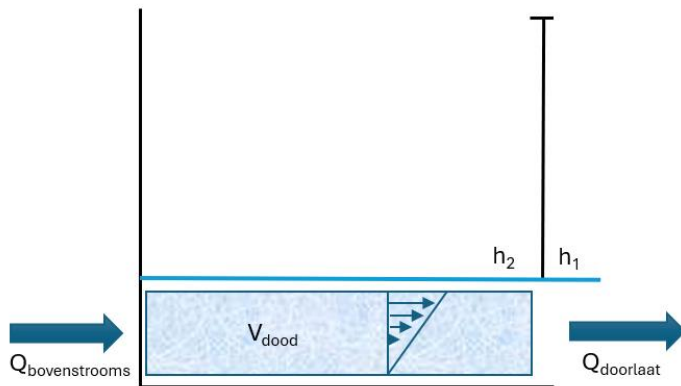


#### 4.1.2 Methode bepaling debiet door doorlaat

Het debiet door de doorlaat wordt berekend aan de hand van een vereenvoudigd model waarin de berging is geschematiseerd als een bakje (afbeelding 4.4). Het bakje wordt gevuld door het debiet dat vanuit bovenstroomse richting wordt aangevuld ( $Q_{\text{bov}}$ ), en loopt leeg via de doorlaat ( $Q_{\text{doorlaat}}$ ) en de overlaat ( $Q_{\text{overlaat}}$ ).

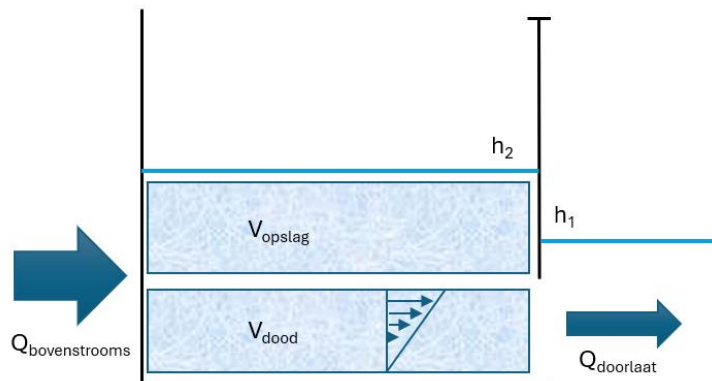
Bij lage afvoeren laat de doorlaat alle afvoer door en is er nog geen sprake van een knijpend effect van de doorlaat op de afvoer. Ook in deze situatie is al een deel van de berging gevuld door het debiet wat er doorheen stroomt. Dit volume definiëren we als het dode volume van de berging ( $V_{\text{dood}}$ ).

Afbeelding 4.4 Vereenvoudigd model berging en doorlaat bij een afvoer waarbij de doorlaat nog geen effect heeft op de doorstroom



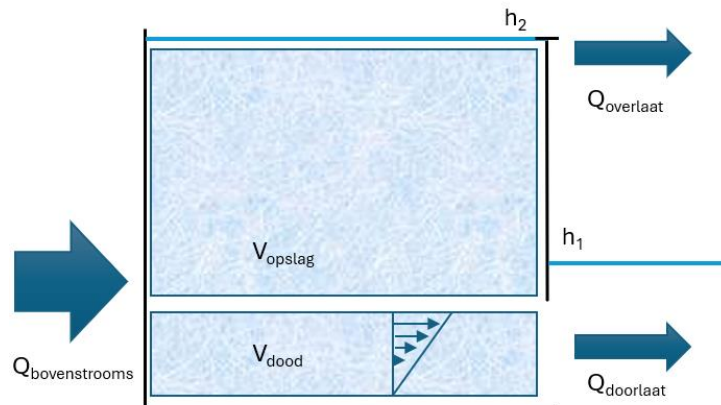
Wanneer de doorlaat een knijpend effect heeft op de doorstroom, en  $Q_{\text{doorlaat}}$  niet meer gelijk is aan  $Q_{\text{bovenstrooms}}$ , begint de berging te vullen (afbeelding 4.5). Het totale volume in de berging bestaat uit de som van het dode volume ( $V_{\text{dood}}$ ) en het volume dat niet door de doorlaat is gestroomd ( $V_{\text{opslag}}$ ). Per tijdstap van 600 seconden geldt dan:  $V_{\text{opslag}} = (Q_{\text{bovenstrooms}} - Q_{\text{doorlaat}}) \cdot 600$ .

Afbeelding 4.5 Vereenvoudigd model berging en doorlaat bij een afvoer waarbij de doorlaat een knijpend effect heeft op de afvoer



Wanneer de berging in zijn geheel gevuld is, stroomt het debiet dat niet door de doorlaat past, over de overlaat (afbeelding 4.6).

Afbeelding 4.6 Vereenvoudigd model berging en doorlaat wanneer berging geheel gevuld is



Deze methode is een ééndimensionale weergave van een in werkelijkheid driedimensionale situatie, en zal daarom niet geheel correct zijn. Het deel van het debiet dat tijdens het vullen van de berging ook volume inneemt binnen het bergingsgebied, wordt in deze methode gemist. De totale dode berging wordt dus onderschat. Desondanks geeft deze methode naar verwachting een redelijke indicatie van het functioneren van de berging in combinatie met een vaste doorlaatconstructie. Voor een nauwkeuriger rekenresultaat van het vullingsgedrag van de bergingen wordt aanbevolen een D-Hydro modelberekening uit te voeren.

Met behulp van analytische formules wordt het debiet door de doorlaat ingeschat op basis van de volgende stappen:

- 1 het debiet dat vanuit bovenstroomse richting wordt aangevoerd, vormt het startpunt van de berekening;
- 2 vervolgens wordt hierbij de bovenstroomse waterstand  $h_2$  berekend. Deze waterstand wordt bepaald aan de hand van het totale volume dat in de berging aanwezig is in de voorgaande tijdstap op basis van de bergingskromme;
- 3 de waterstand benedenstrooms van de doorlaat ( $h_1$ ) wordt bepaald aan de hand van het benedenstroomse debiet uit de voorgaande tijdstap (som van het debiet door de doorlaat en over de overlaat) en een  $Q$ - $h$  relatie die is afgeleid uit D-HYDRO-resultaten;
- 4 op basis hiervan wordt het maximale debiet door de doorlaat berekend met de volgende formule<sup>1</sup>:

$$Q_{\text{doorlaat,max}} = \mu * C * B_{\text{doorlaat}} * H_{\text{doorlaat}} * \sqrt{2 * g * (h_2 - h_1)}$$

In deze formule worden de volgende parameters gebruikt:

- $\mu$ : contractiecoëfficiënt, aangenomen als 0,7 [-];
- $C$ : constante, aangenomen als 0,9 [-] (hangt af van vormgeving doorlaat);
- $B_{\text{doorlaat}}$ : breedte doorlaat;
- $H_{\text{doorlaat}}$ : hoogte doorlaat;
- $h_2$ : waterstand benedenstrooms van doorlaat;
- $h_1$ : waterstand bovenstrooms van doorlaat;

De samengestelde waarde van  $\mu$  en  $C$  bedraagt 0,63 [-]; dit komt ongeveer overeen met de waarde van 0,6 [-] voor rechthoekige doorlaten uit Chanson (2019)<sup>2</sup>;

- 5 wanneer het debiet dat vanuit bovenstroomse richting wordt aangevoerd, groter is dan het maximale debiet door de doorlaat, wordt het verschil opgeslagen in de berging. Wanneer de bovenstroomse waterstand de rand van de overlaat bereikt, stroomt dit debiet over de overlaat (afbeelding 5.6);
- 6 wanneer het debiet dat vanuit bovenstroomse richting wordt aangevoerd, kleiner is dan het maximale debiet door de berging, wordt het debiet aangevuld door het leeglopen van de berging. Als de berging leeg is, is het debiet door de doorlaat gelijk aan het debiet dat vanuit bovenstroomse richting wordt aangevoerd;

<sup>1</sup> Uitgaande van een verdrongen situatie.

<sup>2</sup> Chanson, H. (1999). The Hydraulics of Open Channel Flow, pagina 498.

- 7 het totale volume in de berging is gelijk aan de som van de dode berging ( $V_{\text{dood}}$ ) en het opgeslagen volume ( $V_{\text{opslag}}$ ). Voor de dode berging wordt gedurende de gehele afvoergolf hetzelfde getal gehanteerd dat bepaald is door de lengte van de berging te vermenigvuldigen met de natte doorsnede van de Geul ter hoogte van de doorlaat bij de afvoer waarop de doorlaat begint te knijpen.

### 4.1.3 Hoogte overlaat

De benodigde hoogte van de overlaat is berekend aan de hand van de overlaatformule uit Nortier en de Koning (1996):

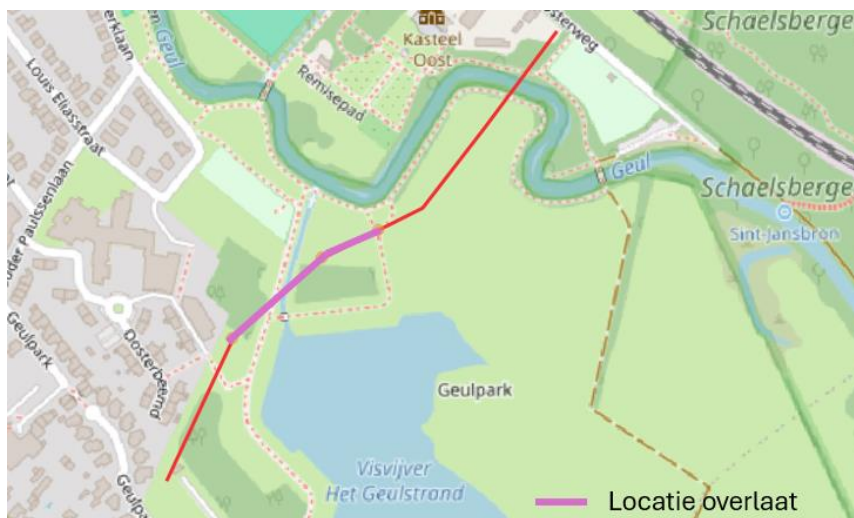
$$Q = C * B * H^{3/2}$$

Waarin:

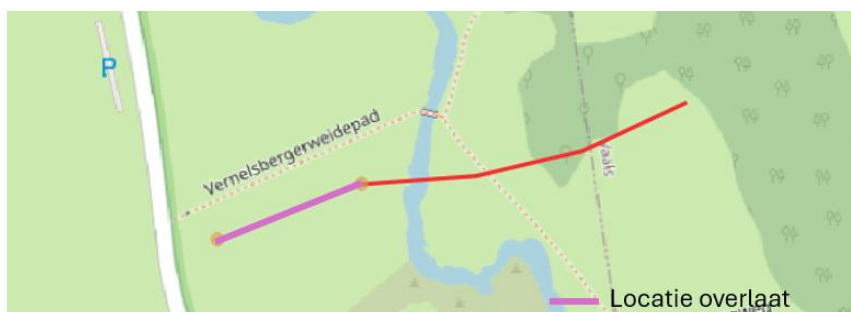
- C: overlaatcoëfficiënt afhankelijk van de vorm van de overlaat en voorliggende waterdiepte. In deze studie gebruik gemaakt van een factor  $C = 2,21$  [-] o.b.v. het diagram op pagina 404 van Chanson (1999)<sup>1</sup>;
- B: de breedte van de overlaat;
- H: de bovenstroomse waterstand ten opzichte van de kruin.

De indicatieve locaties van de overlaten voor Valkenburg en Volmolen zijn weergegeven in afbeelding 4.7 en afbeelding 4.8.

Afbeelding 4.7 Locatie overlaat Valkenburg



Afbeelding 4.8 Locatie overlaat Volmolen



<sup>1</sup> Chanson, H. (1999). The Hydraulics of Open Channel Flow, pagina 404.

De maximale waterstand in de berging is vastgelegd in de ontwerpeisen (hoofdstuk 2). Voor de damhoogte is hier een vrije hoogte van 0,3 m bij opgeteld om rekening te houden met bijvoorbeeld windopzet en golfslag. Vervolgens is berekend bij welke overlaathoogte het overlaatdebiet overeenkomt met de ontwerpeisen in hoofdstuk 2. Hieruit volgt een overlaathoogte van NAP +71,70 m voor de dam bij Valkenburg en NAP +121,1 m voor de dam bij locatie Volmolen (tabel 4.1).

Tabel 4.1 Overlaathoogte (brede overlaat)

|                                                                         | Valkenburg | Volmolen |
|-------------------------------------------------------------------------|------------|----------|
| vrije hoogte [m]                                                        | 0,30       | 0,30     |
| maximale waterstand [m+NAP]                                             | 72         | 121,5    |
| kruinhoogte dam [m+NAP]                                                 | 72,3       | 121,8    |
| breedte overlaat [m]                                                    | 160        | 75       |
| hoogte overlaat [m+NAP]                                                 | 71,7       | 121,1    |
| capaciteit overlaat [m <sup>3</sup> /s] bij max. WL [m <sup>3</sup> /s] | 58,1       | 41,9     |

Opgemerkt wordt dat hierbij voor beide dammen wordt uitgegaan van een brede overlaat. In de verdere detaillering van het ontwerp kan gekozen worden om de overlaat smaller uit te voeren. Dit heeft als voordeel dat een kleiner deel van het talud beschermt hoeft te worden tegen erosie. Dit heeft echter als nadeel dat de kruinhoogte van de overlaat lager moet zijn, om hetzelfde overlaatdebiet te realiseren.

Wanneer de breedte van beide overlaten zou worden gehalveerd, worden de overlaathoogtes van de dammen bij Valkenburg en Volmolen respectievelijk NAP +71,5 m en NAP +120,9 m (tabel 4.2). In beide gevallen geeft dit dus een 0,20 m lagere overlaathoogte dan bij de brede overlaat. In tabel 4.2 is ook het effect van de lagere overlaathoogte op het bergingsvolume van beide dammen weergegeven.

Tabel 4.2 Effect op berging smallere versus bredere overlaat voor Volmolen en Valkenburg

|                 | Ontwerpparameter      | Eenheid           | Volmolen | Valkenburg |
|-----------------|-----------------------|-------------------|----------|------------|
| brede overlaat  | ontwerpdebiet         | m <sup>3</sup> /s | 35       | 50         |
|                 | breedte               | m                 | 75       | 160        |
|                 | hoogte                | m+NAP             | 121,1    | 71,7       |
|                 | bergingsvolume (leeg) | m <sup>3</sup>    | 329      | 461        |
| smalle overlaat | ontwerpdebiet         | m <sup>3</sup> /s | 35       | 50         |
|                 | breedte               | m                 | 37,5     | 80         |
|                 | hoogte                | m+NAP             | 120,9    | 71,5       |
|                 | bergingsvolume        | m <sup>3</sup>    | 312      | 396        |

Uit de tabel blijkt voor Valkenburg dat het verlagen van de overlaathoogte met (slechts) 0,20 m leidt tot een verlies van 65.000 m<sup>3</sup> berging, oftewel 14 %. Bij Volmolen gaat in dit scenario 5 % van de berging verloren.

Deze verkenning laat zien dat het versmallen van de overlaat leidt tot een significant verlies aan bergingsvolume. Dit verlaagt de effectiviteit van de dammen aanzienlijk. De analyse bevestigt het belang van het uitgangspunt 'De overlaat moet zo laat mogelijk in werking treden'.

Geconcludeerd wordt dat het uitgangspunt van 'een brede overlaat die zo laat mogelijk is werking treedt' ook in het nadere ontwerp van de dammen (zo veel mogelijk) dient te worden gehandhaafd. In het vervolg van deze rapportage zal dan ook voor de doorrekening van de dammen de overlaathoogte van de brede doorlaten (tabel 4.1) voor beide dammen worden gehanteerd.

#### 4.1.4 Inschatting benodigde afmetingen doorlaatmiddelen

De afmetingen van de doorlaatmiddelen worden bepaald met behulp van de formules die beschreven zijn in paragraaf 4.1.2. Als eerste is de benedenstroomse waterhoogte vastgesteld op basis de Q-h relatie uit D-Hydro. Vervolgens is berekend bij welke afmetingen van het doorlaatmiddel het maximale doorlaatdebiet wordt bereikt, precies op het moment dat de berging vol is (waterpeil gelijk aan kruinhoogte van de overlaat).

In tabel 4.3 zijn geschikte afmetingen voor beide doorlaten weergegeven waarbij de maximale gewenste debieten worden behaald bij vulling van de berging.

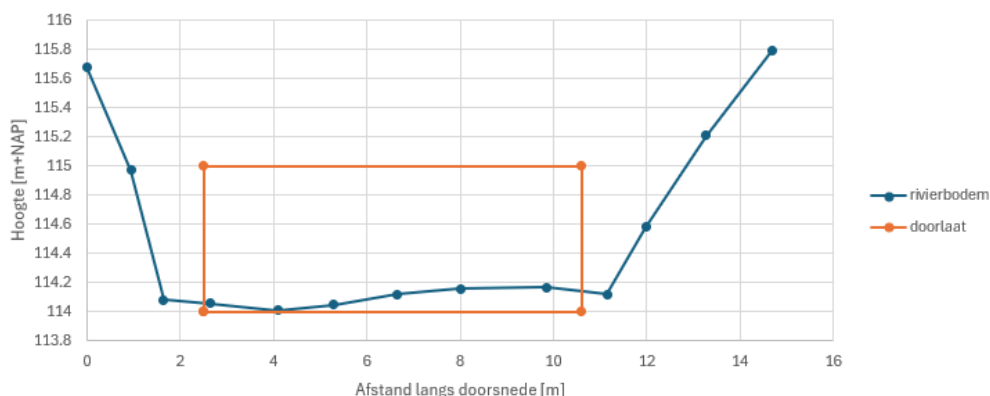
Tabel 4.3 Berekening debiet doorlaat bij volle berging

|                             |                                                                   |                   | Locatie    |          |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------|------------|----------|
|                             |                                                                   |                   | Valkenburg | Volmolen |
| $Q_{\text{benedenstrooms}}$ | benedenstrooms debiet                                             | m <sup>3</sup> /s | 60         | 50       |
| $h_1$                       | benedenstroomse waterstand                                        | m+NAP             | 70,09      | 116,22   |
| $h_2$                       | waterstand bovenstrooms van doorlaat, uitgaande van volle berging | m+NAP             | 71,7       | 121,1    |
| $H_{\text{doorlaat}}$       | hoogte van doorlaat                                               | m                 | 2,0        | 1,0      |
| $B_{\text{doorlaat}}$       | breedte van doorlaat                                              | m                 | 8,4        | 8,1      |
| $\mu$                       | contractiecoëfficiënt                                             | -                 | 0,7        | 0,7      |
| $C$                         | constante                                                         | -                 | 0,9        | 0,9      |
| $Q_{\text{doorlaat}}$       | debiet doorlaat                                                   | m <sup>3</sup> /s | 59,4       | 50,0     |

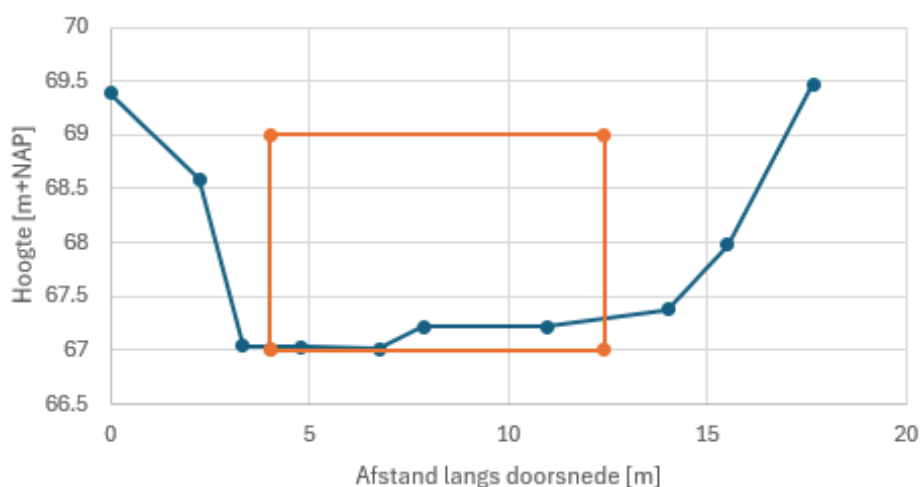
Er zijn ook andere combinaties van breedte en hoogte mogelijk die hetzelfde debiet doorlaten bij hoogwatercondities. Een hogere, maar smallere doorlaat zal echter grotere effecten hebben op de waterstand bij laagwater.

Een brede en lagere doorlaat is voor beide dammen moeilijk te realiseren omdat er binnen het profiel van de Geul is slechts beperkt ruimte is voor een bredere doorlaat. Dit is weergegeven in de D-HYDRO dwarsprofielen van de Geul in afbeelding 4.9 en afbeelding 4.10.

Afbeelding 4.9 Doorlaat in dwarsprofiel (locatie Volmolen)



Afbeelding 4.10 Doorlaat in dwarsprofiel (locatie Valkenburg)



Op basis van deze beschouwing zullen in de hydraulische analyse de volgende afmetingen worden gebruikt voor de vaste doorlaat (variant 1):

- Volmolen: hoogte 1,0 m en breedte 8,1 m;
- Valkenburg: hoogte 2,0 m en breedte 8,4 m.

Voor de direct regelbare schuif (variant 2) is de breedte gelijk aan bovenstaande waardes, maar is de hoogte regelbaar.

Met deze afmetingen wordt in deze rapportage de effectiviteit van de berging nader geanalyseerd. In het vervolg van het project kan eventueel de effectiviteit van de berging en ook de bovenstroomse inundatie met behulp van D-HYDRO modellering nader worden beschouwd.

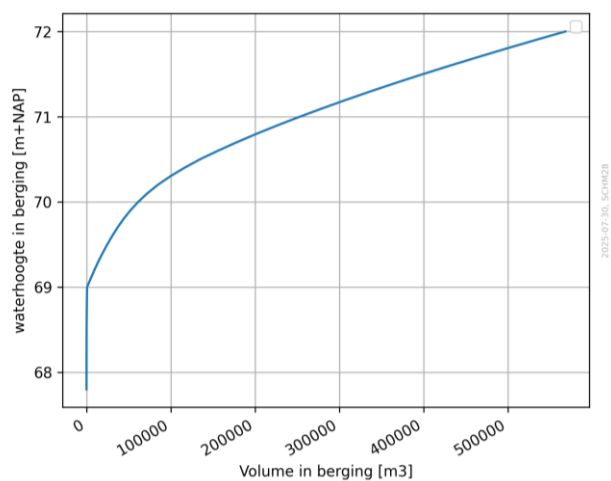
#### 4.1.5 Locatie en volume berging

Het volume achter de dam bij een reeks waterstanden is bepaald in GIS op basis van AHN-hoogtedata (afbeelding 4.11, afbeelding 4.13). Op basis hiervan is de bergingskromme afgeleid; een relatie tussen het volume in de berging en de waterstand achter de dam (afbeelding 4.12, afbeelding 4.14). In bijlage V en bijlage VI zijn tabellen opgenomen van de bergingskrommen.

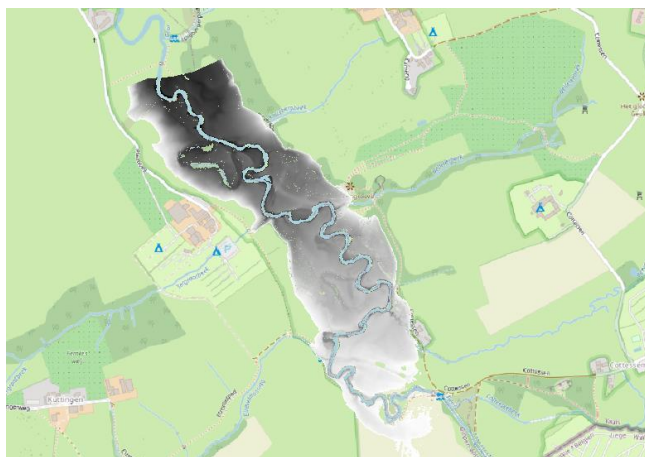
Afbeelding 4.11 Berging achter dam Valkenburg bij waterstand van NAP +72,0 m



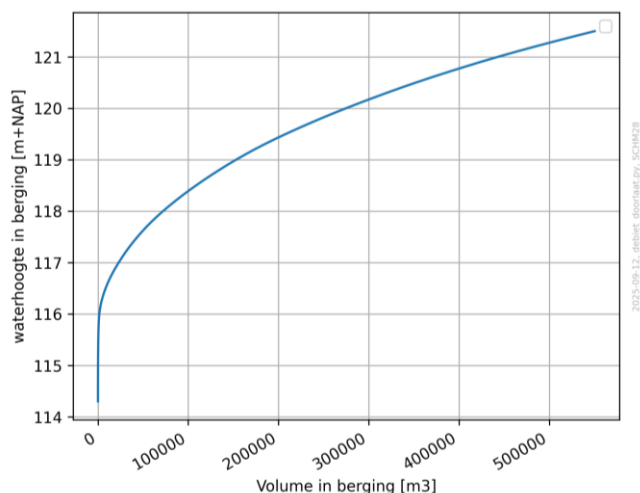
Afbeelding 4.12 Volume in waterberging achter dam Valkenburg



Afbeelding 4.13 Berging achter dam Volmolen bij waterstand van NAP +121,0 m



Afbeelding 4.14 Volume in waterberging achter dam Volmolen



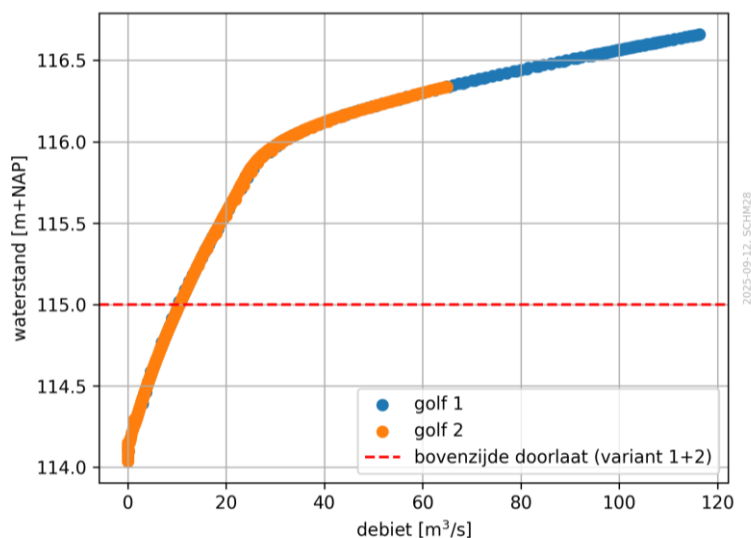
De maximale volumes weergegeven in afbeelding 4.12 en afbeelding 4.14 kunnen niet geheel worden ingezet als berging, omdat de Geul bij hoge afvoeren ook in de referentiesituatie (situatie zonder dam) buiten de oevers treedt. Dat deel van de berging is de 'dode berging' kan dus niet worden aangemerkt als 'bergingswinst' door de aanleg van de dam. In paragraaf 4.3 wordt de invloed van de dode berging op de rekenresultaten inzichtelijk gemaakt.

## 4.2 Effect doorlaat op doorgelaten debiet

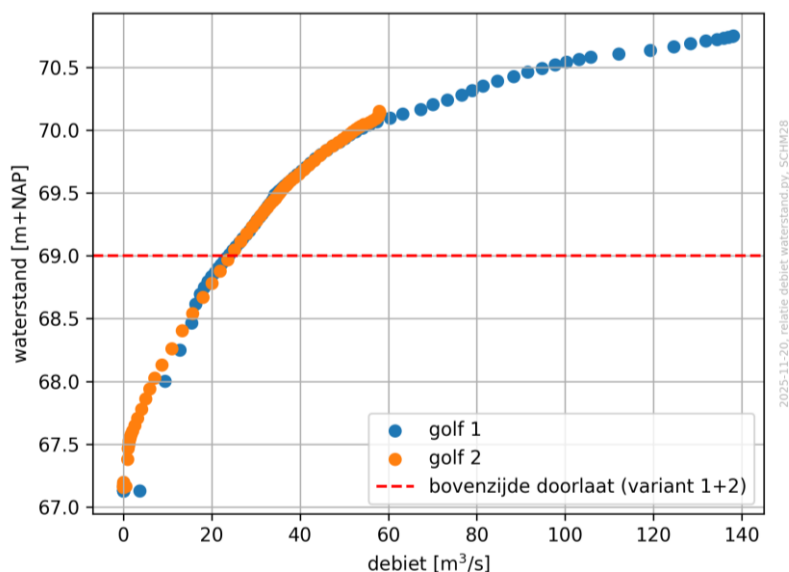
### Analyse

Afbeelding 4.15 en afbeelding 4.16 tonen het debiet ten opzichte van de waterstand op de twee projectlocaties wanneer er geen dam aanwezig is (referentiesituatie). Met een rode stippellijn is de bovenzijde van de vaste doorlaat aangegeven (variant 1).

Afbeelding 4.15 Debiet ten opzichte van waterstand (locatie Volmolen) in de referentiesituatie (zonder dam)



Afbeelding 4.16 Debiet ten opzichte van waterstand (locatie Valkenburg) in de referentiesituatie (zonder dam)



Deze figuren laten zien dat de waterstand bij een afvoer van ongeveer 10 m<sup>3</sup>/s (locatie Volmolen) of 24 m<sup>3</sup>/s (locatie Valkenburg) tot aan de bovenzijde van de doorlaat reikt. Bij deze afvoeren begint een vaste doorlaat dus een groter hydraulisch verlies te geven, en wordt bij grotere debieten een deel van het debiet tegenhouden achter dam.

De hoogte van de direct regelbare schuif (variant 2) kan worden aangepast om het gewenste doorlaatdebiet te bereiken. Door de schuif bij deze afvoeren (alle afvoeren lager dan het maximale debiet) in een hogere positie te plaatsen, wordt het opstuwende effect van de regelbare doorlaat beperkt ten opzichte van een vaste doorlaat.

## Conclusies

Locatie Volmolen:

- bij afvoeren tussen ongeveer 10 m<sup>3</sup>/s en 50 m<sup>3</sup>/s treedt bij een vaste doorlaat een opstuwende werking op ten opzichte van een regelbare doorlaat;
- bij afvoeren kleiner dan 10 m<sup>3</sup>/s is er geen onderscheid tussen het functioneren van een regelbaar en een vast doorlaatmiddel. Ook bij afvoeren groter dan 50 m<sup>3</sup>/s is er, wanneer de berging vol zit, geen verschil tussen de twee doorlaatmiddelen.

Locatie Valkenburg:

- bij afvoeren tussen ongeveer 24 m<sup>3</sup>/s en 60 m<sup>3</sup>/s treedt bij een vaste doorlaat een opstuwende werking op ten opzichte van een regelbare doorlaat;
- bij afvoeren kleiner dan 24 m<sup>3</sup>/s is er geen onderscheid tussen het functioneren van een regelbaar en een vast doorlaatmiddel. Ook bij afvoeren groter dan 60 m<sup>3</sup>/s is er, wanneer de berging vol zit, geen verschil tussen de twee doorlaatmiddelen.

## 4.3 Effect doorlaatmiddel op beschikbaar bergingsvolume

### 4.3.1 Algemeen

In de vorige paragraaf is het effect van de doorlaatmiddelen op het doorgelaten debiet beschreven. Hieruit blijkt dat een vaste doorlaat (variant 1) vanaf een afvoer van ongeveer 10 m<sup>3</sup>/s (locatie Volmolen) en 24 m<sup>3</sup>/s (locatie Valkenburg) meer hydraulische weerstand creëert dan een direct regelbare schuif (variant 2), waardoor het doorgelaten debiet enigszins kleiner is.

Omdat er een lager debiet wordt doorgelaten door de vaste doorlaat ten opzichte van de regelbare doorlaat vult de berging zich dus bij een vaste doorlaat sneller dan bij een regelbare doorlaat. In deze paragraaf wordt onderzocht wat dit betekent voor de effectiviteit van de berging. De analyse wordt uitgevoerd op basis van de twee afvoergolven die zijn beschreven in paragraaf 4.1.1.

Met behulp van de methode beschreven in paragraaf 4.1.2 is een inschatting gemaakt hoe de afvoer wordt beïnvloed door een dam met verschillende type doorlaatmiddelen en hoe daarbij de vulling van de berging verloopt. Het doel hiervan is om de verschillen tussen de doorlaatmiddelen op de effectiviteit van de berging te illustreren.

### 4.3.2 Toelichting op beschikbaar bergingsvolume

Het beschikbare bergingsvolume achter de dam is kleiner dan het totale volume. Dat komt omdat elke afvoergolf een eigen 'dode bergingsvolume' heeft. De dode berging is volume onder het waterpeil dat ook zonder dam wordt behaald bij de afvoergolf. Dit volume kan niet worden aangemerkt als 'bergingswinst' van de aanleg van de dam.

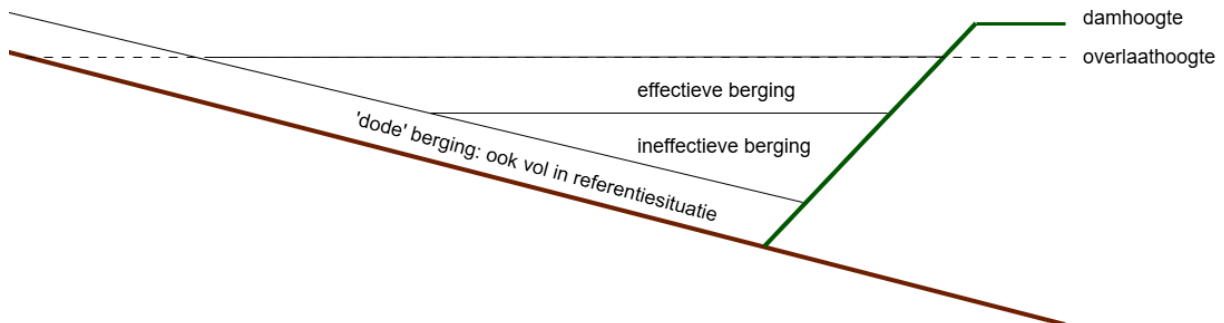
Het resterende deel van de berging is bij een regelbare doorlaat geheel in te zetten als effectieve berging. Bij een vaste doorlaat gaat een deel van die berging verloren doordat de berging eerder wordt ingezet. Deze verloren berging is de ineffektieve berging bij een vaste doorlaat.

Zodoende bestaat de berging uit 3 delen:

- dode berging;
- ineffektieve berging (bij vaste doorlaat);
- effectieve berging (bij vaste en regelbare doorlaat).

Dit is schematisch weergegeven in afbeelding 4.17.

Afbeelding 4.17 Schematische weergave berging



### 4.3.3 Analyse beschikbaar bergingsvolume

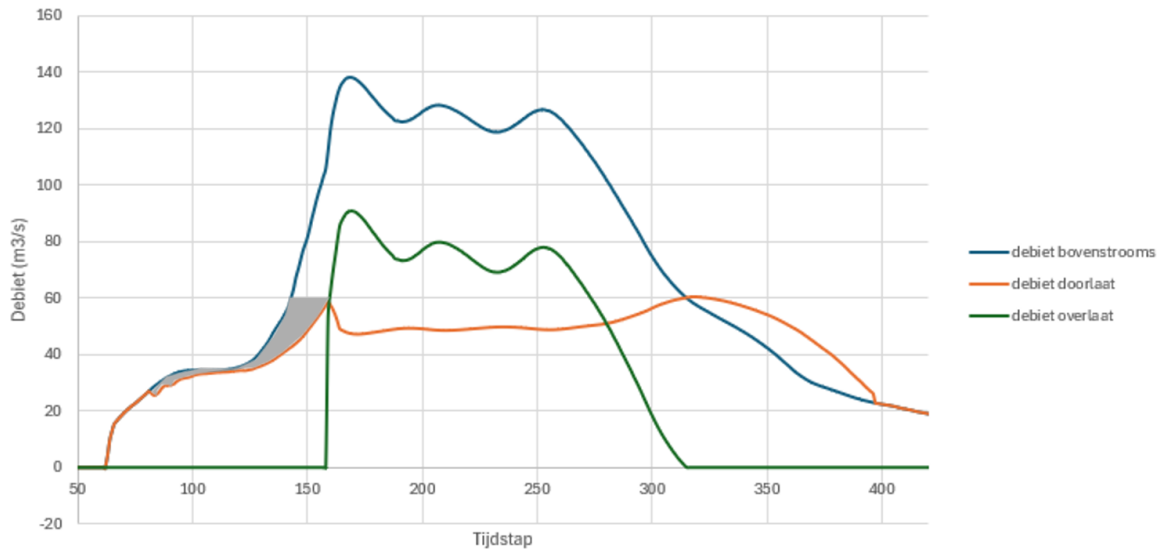
Voor de vaste doorlaat (variant 1) is het debiet door de doorlaat berekend met behulp van de formules beschreven in paragraaf 4.1.2. De resultaten hiervan zijn opgenomen in bijlage I tot en met bijlage IV.

Ter illustratie worden de rekenresultaten van één van deze berekeningen hieronder nader toegelicht. Vervolgens wordt een samenvatting gegeven van de rekenresultaten van de 3 andere berekeningen op dezelfde wijze zijn uitgevoerd.

### Voorbeeld berekening: afvoergolf 1 bij Valkenburg

Afbeelding 4.18 illustreert het rekenresultaat voor locatie Valkenburg bij afvoergolf 1.

Afbeelding 4.18 Debieten locatie Valkenburg afvoergolf 1



In de afbeelding is:

- de blauwe lijn het aangevoerde debiet vanuit bovenstroomse richting;
- de oranje lijn het debiet door een vaste doorlaat;
- de groene lijn het debiet over de overlaat.

In de afbeelding is te zien dat bij afvoeren tot ongeveer 24 m³/s het aangevoerde debiet (blauw) en het debiet door de doorlaat (oranje) gelijk zijn. Vanaf een debiet groter dan 24 m³/s gaan deze lijnen uit elkaar lopen, omdat de vaste doorlaat een toename in hydraulische weerstand geeft. Ook is te zien in de afbeelding dat bij een debiet van 60 m³/s door de doorlaat de overlaat in werking treedt.

Bij een regelbare doorlaat zou bij een perfect geregelde doorlaat de oranje lijn over de blauwe lijn lopen tot aan debieten van 60 m³/s. Vanaf deze waarde wordt het debiet vervolgens instantaan vastgehouden op 60 m³/s. In de praktijk is een perfect geregelde doorlaat niet mogelijk. Maar om het verschil tussen een vaste en regelbare doorlaat te beschouwen wordt wel uitgegaan van een perfect geregelde regelbare doorlaat.

Bij dit uitgangspunt geeft het verschil tussen de blauwe lijn en de oranje lijn dus het verschil weer in effectiviteit van de vaste en regelbare doorlaat. Het grijze oppervlak onder 60 m³/s geeft dus het volume weer dat bij een vaste doorlaat extra wordt geborgen achter de dam, ten opzichte van een regelbare doorlaat.

### Conclusies

De bovenstaande beschouwing is uitgevoerd voor beide afvoergolven en voor beide dammen. Dit geeft een totaalbeeld van de 'dode berging' de 'ineffectieve berging' en de 'effectieve berging'. De rekenresultaten zijn samengevat in tabel 4.4.

Tabel 4.4 Overzicht delen van het bergingsvolume bij een vaste doorlaat

|                       | Locatie Volmolen                |              | Locatie Valkenburg              |              |
|-----------------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|
|                       | *10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> | %            | *10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> | %            |
| <b>afvoergolf 1</b>   |                                 |              |                                 |              |
| 'dode' berging        | 19 <sup>1</sup>                 | 4 %          | 19 <sup>1</sup>                 | 4 %          |
| ineffectieve berging  | 195                             | 42 %         | 222                             | 48 %         |
| effectieve berging    | 249                             | 54 %         | 224                             | 48 %         |
| <b>totale berging</b> | <b>463</b>                      | <b>100 %</b> | <b>465</b>                      | <b>100 %</b> |
| <b>afvoergolf 2</b>   |                                 |              |                                 |              |
| 'dode' berging        | 19 <sup>1</sup>                 | 4 %          | 19 <sup>1</sup>                 | 4 %          |
| ineffectieve berging  | 201                             | 43 %         | 240                             | 52 %         |
| effectieve berging    | 243                             | 53 %         | 206                             | 44 %         |
| <b>totale berging</b> | <b>463</b>                      | <b>100 %</b> | <b>465</b>                      | <b>100 %</b> |

<sup>1</sup>De dode berging is het volume dat reeds gevuld is op het moment dat de knijpconstructie gaat knijpen.

Uit de tabel blijkt dat in beide afvoergolven een aanzienlijk deel van de berging bestaat uit 'ineffectieve berging'. Dat is de berging die niet in kan worden gezet om de afvoergolf (deels) op te vangen, omdat deze berging al gevuld is doordat de vaste doorlaatconstructie al gaat knijpen voordat het maximale doorlaatdebiet is behaald:

- het percentage 'ineffectieve berging' is aanzienlijk en varieert tussen de 42 % en 52 %. Bij een perfect geregelde regelbare doorlaat is dit deel van het volume wel inzetbaar. Bij een vaste doorlaat gaat dit deel van de berging verloren voordat het maximale debiet door de doorlaat wordt bereikt;
- het percentage effectieve berging bij gebruik van een vaste doorlaat is 44 % tot 54 % van de totale berging.

Samengevat wordt gezien dat bij beide dammen en in beide afvoergolven circa de helft van het bergingsvolume bestaat uit ineffectieve berging. Dit is daarmee een robuust rekenresultaat.

Tot slot wordt opgemerkt dat afvoergolf 1 (bui juli 2021) zo groot is ten opzichte van het beschikbare bergingsvolume dat de inzet van deze dammen geen effect heeft op de piekafvoer, ongeacht de keuze voor een vaste of regelbare doorlaat. Op het moment dat de piek van de golf arriveert zitten de dammen (al lang) vol. Het piekdebiet stroomt dan ongehinderd en onverminderd over de kruin van de dam, en leidt dus tot dezelfde schade als in de huidige situatie.

Voor een bui van deze grootte is een enkele dam op zichzelf dus ineffectief. De dammen kunnen bij deze afvoergolf mogelijk wel effectief zijn wanneer er (veel) meer dammen worden aangelegd in het Geuldal en/of in combinatie met andere maatregelen, zoals bijvoorbeeld is onderzocht in het project 'Bypass Valkenburg'. Ook kunnen de dammen wel effectief zijn bij kleinere afvoergolven.

## 4.4 Uitwerking maatvoering en risico's regelbare doorlaat

### 4.4.1 Toelichting op maatvoering regelbare doorlaat

Voor de regelbare doorlaat wordt er voor deze schetsuitwerking vanuit gegaan dat deze even breed is als de vaste doorlaat, maar met een hogere opening. Het deel van de opening boven de benodigde hoogte voor de vaste opening is dan het regelbare deel van de schuif. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat het bewegende

deel van de regelbare doorlaat fysiek niet verder naar beneden kan bewegen dan de bovenzijde van het vaste doorlaatgedeelte.

De hoogte en maximale capaciteit van de regelbare doorlaten wordt in deze paragraaf op schetsniveau nader uitgewerkt met daarbij een ook beschouwing van de risico's van een regelbare doorlaat.

#### 4.4.2 Toelichting op risico van regelbare doorlaat

Het aanleggen van een vaste doorlaat garandeert dat er niet meer water door de doorlaat kan dan het maximaal vastgestelde debiet in de uitgangspunten. Behoudens een verstopping is het onmogelijk om voor een vaste doorlaat anders te functioneren dan wenselijk. Een regelbare doorlaat kan echter wel anders functioneren dan wenselijk wanneer de regeling niet functioneert zoals beoogd. Mogelijke oorzaken hiervan kunnen zijn:

- mechanische blokkade van de schuif;
- een fout in de aansturing/software;
- een menselijke fout met betrekking tot de mechanica of software.

Op basis van uitgewerkte maatvoering wordt het risico van een regelbare doorlaat (enigszins) gekwantificeerd. Er worden 3 scenario's beschouwd:

- scenario 1: de schuif staat te laag;
- scenario 2: de schuif staat te hoog, open vanaf start afvoergolf;
- scenario 3: de schuif staat te hoog, opent zich als berging vol is.

##### Scenario 1: de schuif staat te laag

Het extreemste scenario van een te lage schuif is wanneer de schuif op de maximaal geknepen toestand staat, terwijl deze eigenlijk helemaal open zou moeten staan. Wanneer dit scenario zich voordoet is de situatie niet anders dan bij een vaste doorlaat. Het debiet door de doorlaat wordt geknepen tot het maximaal gewenste doorlaatdebiet bij een volle berging, en het resterende debiet gaat over de overlaat. Wanneer dit scenario zich zou voordoen bij een regelbare doorlaat creëert dit dus geen extra risico ten opzichte van een vaste doorlaat.

Wel benadrukt dit scenario dat het belangrijk is de overlaat zodanig te ontwerpen dat deze voldoende capaciteit heeft. De overlaat dient zowel bij de keuze voor de vaste, als voor de regelbare doorlaat voldoende capaciteit te hebben om het maximaal berekende overlaat debiet veilig af te voeren. Geadviseerd wordt om de overlaat een minimale capaciteit te geven van het maximale debiet in een situatie met een hogere terugkeertijd, bijvoorbeeld voor de T1000. De grotere capaciteit kan (deels) worden gerealiseerd binnen de vrije hoogte tussen het maximaal waterpeil in de T100 en de hoogte van de damkruin.

Deze aanbeveling wordt gedaan omdat het van belang is dat de dammen niet falen in grotere buien dan de ontwerp bui T100. Als een dam zou falen (wash-out) ontstaat een vloedgolf benedenstrooms, waardoor het piekdebiet nog (veel) hoger ligt dan het maximale ontwerp debiet.

Aangezien de geregelde doorlaat in dit scenario geen extra risico oplevert ten opzichte van een vaste doorlaat, wordt dit scenario 'de schuif staat te laag' niet nader gekwantificeerd.

##### Scenario 2: de schuif staat te hoog, open vanaf start afvoergolf

Het risico bestaat dat de schuif open staat en niet sluit bij een inkomende afvoergolf. Uiteindelijk staat de schuif helemaal open, terwijl deze eigenlijk maximaal geknepen zou moeten worden. Wanneer dit scenario zich voordoet laat de regelbare schuif meer water door dan het maximaal gewenste debiet, en biedt de dam dus geen bescherming aan benedenstroomse delen.

In dit scenario creëert een geregelde doorlaat wél extra risico ten opzichte van de keuze voor een vaste doorlaat. Het risico van scenario 2 wordt nader gekwantificeerd op basis van de maatvoering van de

geregelde doorlaat in de volgende paragrafen 4.4.3 (locatie Volmolen) en paragraaf 4.4.4 (locatie Valkenburg).

### Scenario 3: de schuif staat te hoog, opent zich als berging vol is

Het risico bestaat dat de schuif wel correct sluit om het inkomende water te bergen, maar zich vervolgens onbedoeld opent als de berging vol zit. Op dat moment is het verschil tussen het benedenstroomse en bovenstroomse waterpeil maximaal. Dit geeft de grootste potentiële afvoergolf. Opgemerkt wordt dat de kans op dit scenario kleiner wordt geacht dan de kans op scenario 2. Echter is het gevolg (het maximaal doorgelaten debiet) potentieel wel groter.

Wanneer dit scenario zich voordoet laat de regelbare schuif meer water door dan het maximaal gewenste debiet, en biedt de dam dus geen bescherming aan benedenstroomse delen.

In dit scenario creëert een geregelde doorlaat dus ook extra risico ten opzichte van de keuze voor een vaste doorlaat. Het risico van scenario 3 wordt ook nader gekwantificeerd op basis van de maatvoering van de geregelde doorlaat in de volgende paragrafen 4.4.3 (locatie Volmolen) en paragraaf 4.4.4 (locatie Valkenburg).

## 4.4.3 Maatvoering en risico geregelde doorlaat Volmolen

### Maatvoering

De maat van de vaste doorlaat bij Volmolen is in paragraaf 4.1.4 vastgesteld op  $B \times H = 8,1 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$ . Deze doorlaat begint te knijpen bij een debiet van ongeveer  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

De geregelde doorlaat moet in staat zijn om een debiet van  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  (relatief) onverstoorde door te laten. Dit betekent dat de bovenzijde van de doorlaatopening van een regelbare doorlaat minimaal moet worden gesteld op het waterpeil dat in de huidige situatie bij Volmolen wordt bereikt bij een debiet van  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ . Het waterpeil behorend bij  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  is vastgesteld op basis van de Q-h relatie, die is opgenomen in bijlage VII. Voor Volmolen is dit peil NAP +116,21 m.

Tot slot is er in dit schetsontwerp voor gekozen het regelbare deel groter te maken dan de minimale hoogte. Een belangrijk voordeel van de regelbare doorlaat is namelijk dat deze kan worden aangepast aan toekomstige omstandigheden. Mocht de benedenstroomse capaciteit (bijvoorbeeld door Valkenburg) in de toekomst toenemen, moet de mogelijkheid bestaan de schuif hoger open te zetten dan NAP +116,21 m.

Deze flexibiliteit voor de toekomst dient meegenomen te worden in het ontwerp. Gekozen worden om de doorlaat met 10 % overcapaciteit te dimensioneren. Dit betekent dat het peil van het plafond ~10 % hoger ligt dan het minimum. Daarmee komt de ontwerphoogte van het plafond van de doorlaat op NAP +116,43 m. De schuif heeft een minimale hoogte die gelijk is aan de hoogte van het regelbare deel van de doorlaat, 1,43 m. Dit betekent dat wanneer het regelbare deel geheel geopend is, de schuif 1,43 m boven de bovenzijde van het regelbare deel uitsteekt, tot NAP +117,86.

In tabel 4.5 is bovenstaande schetsuitwerking van de maatvoering van de doorlaat samengevat.

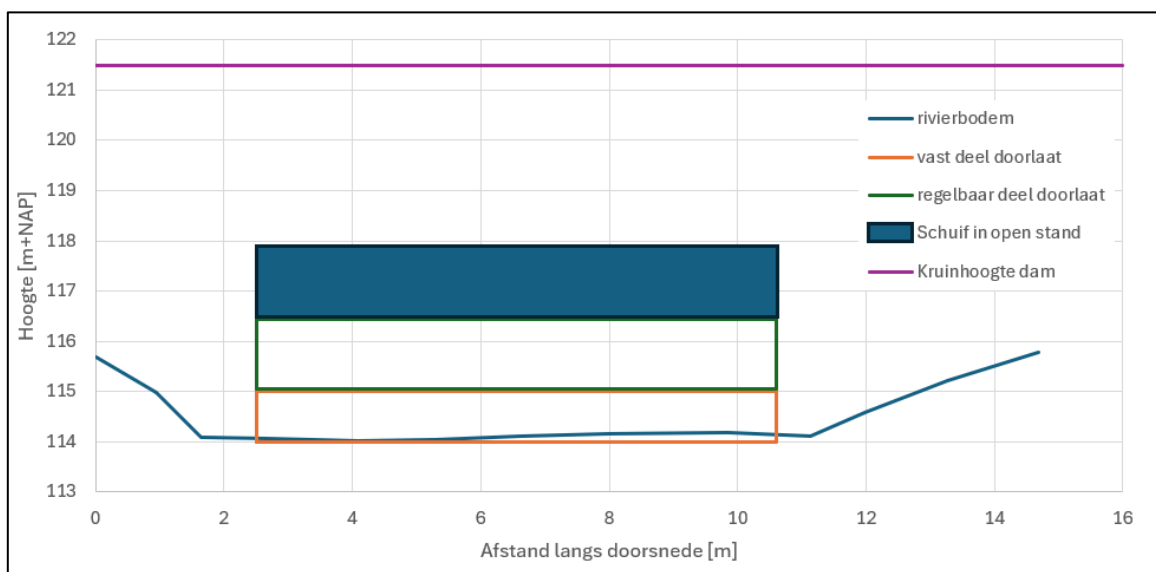
Tabel 4.5 Schetsuitwerking maatvoering doorlaat Volmolen (breedte 8,1 m)

|                                                   | Hoogte (m) | Peil (m)      |
|---------------------------------------------------|------------|---------------|
| bovenkant schuif in open toestand - (116,43+1,43) |            | NAP +117,86 m |
| hoogte schuif - (116,43 - 115,0)                  | 1,43       |               |
| bovenzijde regelbaar deel van de doorlaat         |            | NAP +116,43 m |
| overcapaciteit 10 % - (1,0 + 1,21)*10 %           | 0,22 m     |               |

|                                                          | Hoogte (m) | Peil (m)      |
|----------------------------------------------------------|------------|---------------|
| minimaal peil bovenzijde regelbaar deel van de doorlaat  |            | NAP +116,21 m |
| minimale hoogte regelbaar deel van de doorlaat           | 1,21 m     |               |
| bovenzijde vaste doorlaat (of vast deel van de doorlaat) |            | NAP +115,0 m  |
| hoogte vaste doorlaat (of vast deel van de doorlaat)     | 1,0 m      |               |
| onderzijde doorlaat                                      |            | NAP +114,0 m  |

In afbeelding 4.19 is de bovenstaande maatvoering van een regelbare doorlaat voor Volmolen schetsmatig weergegeven.

Afbeelding 4.19 Schetsuitwerking maatvoering regelbare doorlaat Volmolen



## Risico

Het belangrijkste en meest extreme risico van de geregelde doorlaat is dat openstaat terwijl deze maximaal zou moeten knijpen.

Het bijbehorende risico wordt gekwantificeerd door te berekenen welk debiet de schuif in dit scenario doorlaat. Daarbij wordt voor:

- scenario 2 het piekdebiet doorgerekend met de rekentool, waarbij wordt uitgegaan van een geheel geopende schuif gedurende de afvoergolven;
- voor scenario 3 de rekenmethode van paragraaf 4.1.2 toegepast. In tabel 4.6 zijn de rekenresultaten samengevat.

Tabel 4.6 Maximaal doorgelaten debiet door vaste doorlaat en door geregelde doorlaat Volmolen in volledig open stand

|                                                           | Maatvoering B x H (m) | Maximaal doorgelaten debiet (m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|
| vaste doorlaat                                            | 8,1 x 1,0             | 50,0                                            |
| geregelde doorlaat staat open - scenario 2 (afvoergolf 1) | 8,1 x 2,43            | 107                                             |

|                                                           | Maatvoering B x H (m) | Maximaal doorgelaten debiet (m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|
| geregelde doorlaat staat open - scenario 2 (afvoergolf 2) | 8,1 x 2,43            | 65                                              |
| geregelde doorlaat opent zich - scenario 3                | 8,1 x 2,43            | 121,0                                           |

De definitie van een **risico** = kans x gevolg.

**Kans:** de kans dat een regelbare schuif volgens scenario 2 of 3 is niet te kwantificeren.

**Gevolg:** de gevolgen zijn met de rekenresultaten in tabel 4.6 wel gekwantificeerd. Het piekdebiet in afvoergolf 1 is circa 112 m<sup>3</sup>/s en in afvoergolf 2 circa 65 m<sup>3</sup>/s. Uit de rekenresultaten blijkt dat:

- in scenario 2 de afvoergolven (vrijwel) geheel onvertraagd worden doorgelaten;
- in scenario 3 is het theoretisch maximale debiet kortstondig 121 m<sup>3</sup>/s. Dit is iets groter dan het de maximale afvoergolf. Dit komt omdat in dit scenario de schuif op het meest ongunstige moment opent, precies als de berging vol is, maar wanneer het benedenstroomse waterpeil nog laag. Het gevolg in scenario 3 is daardoor dat een afvoergolf ontstaat die kortstondig groter is dan de maximale afvoergolf zonder dam. Opgemerkt wordt dat dit risico zich voordoet bij elke afvoergolf die de berging vult. Bijvoorbeeld, een langdurige afvoergolf van maximaal 75 m<sup>3</sup>/s, die de berging vult, levert bij falen in scenario 3 een maximaal piekdebiet van 121 m<sup>3</sup>/s. Een veel grotere afvoergolf vanaf de doorlaat dus dan wordt aangeleverd door de afvoergolf. Dit risico deels is te ondervangen door de regeling van de regelbare schuif zodanig te ontwerpen dat deze alleen mechanische sluiting regelt, maar niet de mechanische opening.

Geconcludeerd wordt dat bij falen van de regelbare doorlaat bij Volmolen in beide faalscenario's de dam vrijwel geen bescherming meer biedt tegen de maximale piekdebieten die optreden bij de afvoergolven. In scenario 3 ligt het piekdebiet zelfs (kortstondig) hoger.

#### 4.4.4 Maatvoering en risico regelde doorlaat Valkenburg

##### Maatvoering

De maat van de vaste doorlaat bij Valkenburg is in paragraaf 4.1.4 vastgesteld op B x H = 8,4 m x 2,0 m. Deze doorlaat begint te knijpen bij een debiet van ongeveer 24 m<sup>3</sup>/s.

De regelde doorlaat moet in staat zijn om een debiet van 60 m<sup>3</sup>/s (relatief) onverstoord door te laten. Dit betekent dat de bovenzijde van de doorlaatopening van een regelbare doorlaat minimaal moet worden gesteld op het waterpeil dat in de huidige situatie bij Valkenburg wordt bereikt bij een debiet van 60 m<sup>3</sup>/s.

Het waterpeil behorend bij 60 m<sup>3</sup>/s wordt vastgesteld op basis van de Q-h relatie, die is opgenomen in bijlage VIII. Voor Valkenburg is dit peil NAP +70,10 m.

Ook in het schetsontwerp voor Valkenburg wordt er voor gekozen het regelbare deel groter te maken dan de minimale hoogte. Een belangrijk voordeel van de regelbare doorlaat is namelijk dat deze kan worden aangepast aan toekomstige omstandigheden. Mocht de benedenstroomse capaciteit (bijvoorbeeld door Valkenburg) in de toekomst toenemen, bestaat hiermee de mogelijkheid de schuif verder te openen dan NAP +70,10 m.

Deze flexibiliteit voor de toekomst dient meegenomen te worden in het ontwerp. Gekozen wordt om de doorlaat met 10 % overcapaciteit te dimensioneren. Dit betekent dat het peil van het plafond ~10 % hoger ligt dan het minimum. Daarmee komt de ontwerphoogte van het plafond van de doorlaat op NAP +70,41 m.

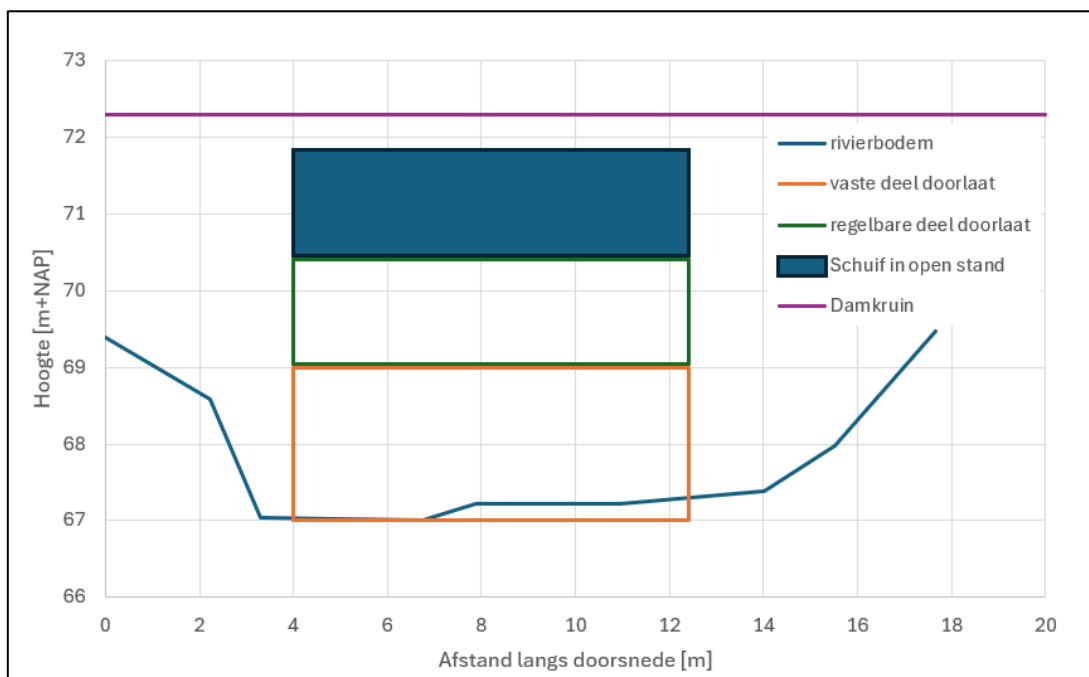
In tabel 4.7 is bovenstaande schetsuitwerking van de maatvoering van de doorlaat samengevat.

Tabel 4.7 Schetsuitwerking maatvoering doorlaat Valkenburg (breedte 8,4 m)

|                                                             | Hoogte (m) | Peil (m)     |
|-------------------------------------------------------------|------------|--------------|
| bovenkant schuif in open toestand -<br>(70,41 + 1,41)       |            | NAP +71,82 m |
| hoogte schuif - (70,41 - 69,0)                              | 1,41       |              |
| bovenzijde regelbaar deel van de doorlaat                   |            | NAP +70,41 m |
| overcapaciteit 10 % - $(2,0 + 1,10) \cdot 10\%$             | 0,31 m     |              |
| minimaal peil bovenzijde regelbaar deel<br>van de doorlaat  |            | NAP +70,10 m |
| minimale hoogte regelbaar deel van de<br>doorlaat           | 1,10 m     |              |
| bovenzijde vaste doorlaat (of vast deel<br>van de doorlaat) |            | NAP +69,0 m  |
| hoogte vaste doorlaat (of vast deel van de<br>doorlaat)     | 2,0 m      |              |
| onderzijde doorlaat                                         |            | NAP +67,0 m  |

In afbeelding 4.20 is de bovenstaande maatvoering van een regelbare doorlaat voor Volmolen schetsmatig weergegeven.

Afbeelding 4.20 Schetsuitwerking maatvoering regelbare doorlaat Valkenburg



### Risico

Het belangrijkste en meest extreme risico van de geregelde doorlaat is dat openstaat terwijl deze maximaal zou moeten knijpen.

Het bijbehorende risico wordt gekwantificeerd door te berekenen welk debiet de schuif in dit scenario doorlaat. Daarbij wordt voor:

- scenario 2 het piekdebiet doorgerekend met de rekentool, waarbij wordt uitgegaan van een geheel geopende schuif gedurende de afvoergolf;
- voor scenario 3 de rekenmethode van paragraaf 4.1.2 toegepast. In tabel 4.8 zijn de rekenresultaten samengevat.

Tabel 4.8 Maximaal doorgelaten debiet door vaste doorlaat en door geregelde doorlaat Valkenburg in volledig open stand

|                                                           | Maatvoering BxH (m) | Maximaal doorgelaten debiet bij volle dam (m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------|
| vaste doorlaat                                            | 8,4 x 2,0           | 59,4                                                          |
| geregelde doorlaat staat open - scenario 2 (afvoergolf 1) | 8,4 x 3,41          | 90                                                            |
| geregelde doorlaat staat open - scenario 2 (afvoergolf 2) | 8,4 x 3,41          | 83                                                            |
| geregelde doorlaat opent zich - scenario 3                | 8,4 x 3,41          | 101,0                                                         |

De definitie van een **risico = kans x gevolg**

**Kans:** de kans dat een regelbare schuif volgens scenario 2 of 3 is niet te kwantificeren.

**Gevolg:** de gevolgen zijn met de rekenresultaten in Tabel 4.8 wel gekwantificeerd. Het piekdebiet in afvoergolf 1 is circa 138 m<sup>3</sup>/s en in afvoergolf 2 circa 91 m<sup>3</sup>/s. Uit de rekenresultaten blijkt dat:

- in scenario 2 de afvoergolven nog steeds deels worden vertraagd. Van het piekdebiet van 138 m<sup>3</sup>/s wordt in afvoergolf 1 maximaal 90 m<sup>3</sup>/s doorgelaten. Van het piekdebiet van 91 m<sup>3</sup>/s wordt in afvoergolf 2 maximaal 93 m<sup>3</sup>/s doorgelaten;
- in scenario 3 is het theoretisch maximale debiet kortstondig 101 m<sup>3</sup>/s. Dit is kleiner dan het piekdebiet van afvoergolf 1. Opgemerkt wordt dat dit risico zich voordoet bij elke afvoergolf die de berging vult. Bijvoorbeeld, een langdurige afvoergolf van maximaal 75 m<sup>3</sup>/s, die de berging vult, levert bij falen in scenario 3 een maximaal piekdebiet van 101 m<sup>3</sup>/s. In die situatie ontstaat wél een veel grotere afvoergolf vanaf de doorlaat dan wordt aangeleverd door de afvoergolf. Dit risico deels is te ondervangen door de regeling van de regelbare schuif zodanig te ontwerpen dat deze alleen mechanische sluiting regelt, maar niet de mechanische opening.

Geconcludeerd wordt dat bij falen van de regelbare doorlaat bij Valkenburg in beide faalscenario's de dam nog wel een beperkte bescherming biedt tegen de maximale piekdebieten die optreden bij de afvoergolven.

# 5

## CIVIELTECHNISCHE UITWERKING OP HOOFDLIJNEN

In dit hoofdstuk zijn de algemene civieltechnische aspecten uitgewerkt op hoofdlijnen. Hierbij is de opbouw van de dam beschouwd, de bouw van de doorlaatkoker en de opties die er zijn voor het regelbare mechanisme. Met uitzondering van de kosteninschatting is er geen onderscheid tussen de twee locaties voor het huidige detailniveau.

In bijlage X is het ontwerp van Volmolen opgenomen en in bijlage XI het ontwerp van Valkenburg.

### 5.1 Opbouw dam

Voor de bouw van de dam worden de volgende stappen doorlopen:

- bouwrijp maken terrein;
- opbouw dam:
  - klei categorie 2 onder talud 1:3;
  - inzaaien met gras;
- overlaatconstructie en bodembescherming doorlaat:
  - geotextiel aanbrengen;
  - breuksteen 10-60 kg.

#### Kernmateriaal klei

De dam wordt opgebouwd uit klei. Hierdoor is deze waterremmend en kan het de functie van waterkerend grondlichaam vervullen. Voor een goede waterremmendheid en om erosie tegen te gaan wordt een kleicategorie 2 of hoger gehanteerd. Deze kleicategorie is breed voorhanden en is veel toegepast in de waterbouw. Gezien de hoeveelheden is het niet realistisch dat het materiaal uit de directe omgeving gewonnen kan worden. Het materiaal kan per as worden aangevoerd en met kranen worden verwerkt. Doordat het in den droge wordt aangelegd is het goed verwerkbaar. Het kleimateriaal kan inklinken en daarom zal in een verdere uitwerking een zettingsberekening uitgevoerd moeten worden. Op basis hiervan kan de dam met een overhoogte worden aangelegd, zodat de gewenste kruinhoogte in de eindsituatie wordt bereikt. Door tijdens het werk verdichting toe te passen, is het goed mogelijk om de zetting grotendeels al binnen de uitvoeringsperiode te laten plaatsvinden.

#### Breuksteen 10-60 kg op geotextiel

Bij de overlaat en het doorlaatmiddel is er sprake van verhoging in de stroomsnelheid. Bij een onbeschermde bodem of talud zal hierdoor erosie kunnen optreden. Om deze reden worden bij dergelijke constructies bodem- en taludbescherming aangebracht. Gezien de afmetingen en debieten die bij de overlaten en doorlaten van Volmolen en Valkenburg zijn berekend, is er hier ook een bodem- en taludbescherming nodig. Op basis van ervaring van vergelijkbare projecten is een breuksteengradering van 10-60 kg toegepast. Het toepassen van een grotere sortering is niet wenselijk, omdat dit inpasbaarheid en aansluitingen bemoeilijkt. In de praktijk wordt het breuksteen ingegoten met beton over de locaties waar het losse breuksteen niet voldoet. Typisch is dit over enkele meters afstand en is dit met name bij de uitstroomzijde van de doorlaat.

Bij de overlaat kan er voor worden gekozen het breuksteen te overlagen met dekgrond en gras, om toch een groene uitstraling te behouden. Wanneer de overlaat in werking treedt zal het gras en grond hier mogelijk wegspoelen, maar blijft de integriteit van de dam gewaarborgd blijft.

Onder het breuksteen zal een geotextiel worden toegepast om uitspoeling van het onderliggende materiaal te voorkomen. Dit geotextiel is zowel bij de overlaat als bij de doorlaatconstructie nodig. Op basis van de laatste richtlijnen zal voor de keuze van het geotextiel een valproef moeten worden uitgevoerd, om de robuustheid van de doek aan te tonen.

## 5.2 Opbouw doorlaاتمiddel

In deze paragraaf worden de civieltechnische keuzes besproken voor het regelbare deel van de doorlaat. Het vaste deel wordt beschouwd als een betonnen koker, waarop het regelwerk voor de schuiven wordt geplaatst. De uitwerking richt zich achtereenvolgens op de breedte en materiaalkeuze van de schuiven, het type bewegingswerk en besturing, de fundering, de installatievolgorde en de benadering richting leveranciers en marktpartijen. Hiermee wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste ontwerpaspecten en aandachtspunten voor de realisatie van het regelbare deel van de doorlaat.

### 5.2.1 Breedte en materiaalkeuze van de schuiven

De breedte van de schuiven is een bepalende factor voor het ontwerp. Dit bepaalt het aantal kokers in het regelbare deel van het kunstwerk, maar ook wel materialisatie en regelwerken mogelijk zijn.

Op basis van ervaringen uit vergelijkbare waterbouwkundige projecten zijn stalen schuiven met een breedte van 8,4 m zeker realiseerbaar, mits voldoende verstijving wordt toegepast. Zulke grote schuiven worden met name toegepast bij waterkerende kunstwerken of voor scheepvaart. Naarmate de breedte toeneemt, stijgen de eisen aan de dikte en stijfheid van de schuif, evenals het gewicht en de benodigde aandrijfkraften. In de regel zijn dit stalen schuiven, met toepassing van horizontale en verticale verstijvers kan de constructieve dikte worden beperkt. Desondanks wordt hier een grote schuif verwacht met een dikte van enkele decimeters

Voor kleinere schuiven (tot circa 2 m breed) kan ook vezelversterkte kunststof (composiet) worden overwogen. Dit materiaal is lichter en onderhoudsarm, maar wordt in de praktijk nauwelijks toegepast voor bredere schuiven vanwege beperkingen in sterkte en doorbuiging.

Een breedte van 2 m wordt gezien als de minimale breedte van de schuif. Dit is goed realiseerbaar van zowel kunststof als staal. Kleinere breedtes hebben geen financieel voordeel in constructie, zijn vatbaarder voor verstopping en beperken het doorstroomoppervlakte onnodig. Achter elke schuif zit namelijk een aparte koker voor geleiding, waarvan de wanddikte het doorstroomoppervlakte beperkt. Meerdere kokers zorgen ervoor dat bij het falen van een regelwerk er nog steeds door de overige kokers stroming mogelijk is.

In afstemming met WRL is gekozen om voor deze studiefase een ontwerp met 1 koker verder uit te werken.

### 5.2.2 Type bewegingswerk

Voor het openen en sluiten van de schuiven zijn verschillende aandrijfprincipes mogelijk, elk met hun eigenschappen. Bij de types is een voorbeeld opgenomen ter illustratie. Dit zijn in twee gevallen sluizen die qua formaat veel groter zijn, maar wel een goed beeld geven van het type hefwerk dat ook op kleinere schaal kan worden toegepast.

#### Kabeltrommels:

Kabeltrommels vormen een compacte oplossing. Ze worden doorgaans boven de constructie geplaatst, maar het is met aanpassing ook mogelijk om ze buiten het zicht achter of naast de constructie te plaatsen. Kabeltrommels zijn duurder in aanschaf en onderhoud. Ze worden met name toegepast waar beperkte inbouwruimte is, maar het prijsniveau moet worden afgewogen tegen de voordelen in compactheid.

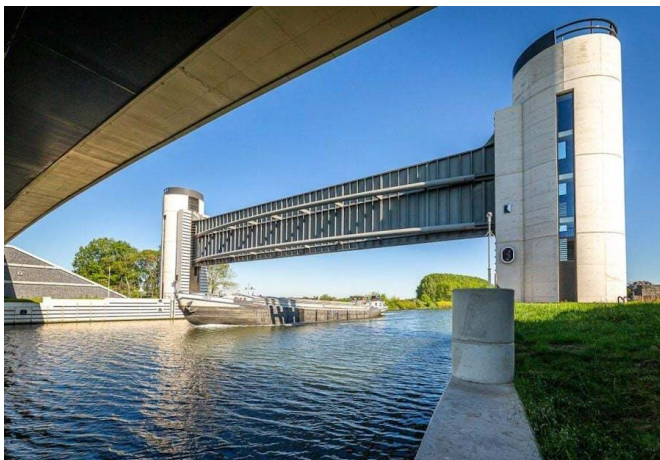
Afbeelding 5.1 Westkolk Sluis Weurt (Stalen hefdeur 14 m, met kabeltrommels)



#### Tandheugel met hydraulische cilinders:

Ook deze systemen zijn relatief compact, maar nemen meer ruimte in aan de zijkanten van de doorlaat in beslag. Hierdoor is het constructief en civieltechnisch het meest logisch om te kiezen voor één schuif over de volle breedte, of maximaal twee schuiven van elk ongeveer 4 m breed. De benodigde ruimte aan de zijkant beperkt het aantal schuiven dat naast elkaar kan worden toegepast. Met het toepassen van deze oplossing is er niet of nauwelijks ruimte boven de geopende schuif nodig.

Afbeelding 5.2 Keersluis Limmel (stalen hefdeur 50 m met hydraulische heffing)



#### Standaard hefwerk aan de bovenzijde

Het meest gangbare type bewegingswerk bij dit soort constructies is een standaard hefwerk, waarbij de schuif met een spindel of lier verticaal wordt opgetild. Dit systeem is het eenvoudigst qua werking,

doorgaans goedkoper. Wel vraagt deze oplossing voldoende ruimte aan de bovenzijde van de constructie voor het hefwerk en de volledig geopende schuif.

Afbeelding 5.3 Dommelduiker Wilhelminakanaal (stalen deuren 5 m breed)



- bij Valkenburg is er slechts 0,5 m vrije ruimte beschikbaar boven de geopende schuif. Hierdoor zal het hefwerk waarschijnlijk boven de kruin uitsteken;
- bij Volmolen is er 4 m vrije ruimte boven de geopende schuif aanwezig. Daarmee kan het regelwerk hier onder de kruin van de dam ingepast worden.

De keuze voor het type bewegingswerk wordt dus mede bepaald door de beschikbare inbouwruimte, de gewenste breedte van de schuif en de wens voor uitstraling. In de huidige fase van het ontwerp is geen keuze gemaakt voor het type hefmiddel.

#### Leveranciers en marktbenadering

Hoewel sommige leveranciers standaardproducten aanbieden voor de schuiven en het regelwerk, zal voor dit project vanwege de afmetingen en specifieke eisen het ontwerp maatwerk zijn. Er zijn in Nederland en omliggende landen meerdere ervaren partijen actief. Fabrikanten als Spie en Hollandia hebben ruime ervaring met de productie en montage van grote stalen schuiven. Voor de aandrijving en besturing zijn gespecialiseerde bedrijven als Bosch. In de verdere uitwerking kunnen meer marktpartijen benaderd moeten worden voor hun expertise en inbreng, zowel op het gebied van staalconstructies als op aandrijvings- en besturingssystemen. Op basis hiervan kan ook een gerichte kosteninschatting worden gemaakt.

### 5.2.3 Doorlaatkoker

#### Betonbouw doorlaatkoker

De doorlaatkoker is in uitgewerkt als een betonkoker. Gezien de afmetingen (Valkenburg 8,4 x 3,41 x 13,7 m en Volmolen 8,1 x 2,43 x 35,2 m) is dit niet als prefab element te koop. De koker zal daarom in het werk gestort moeten worden. Door de grote overspanningen en de krachten van uit het hefmechanisme en de bovenliggende grond, is ook uitgegaan van gewapend beton. Op basis van vergelijkbare projecten is een wanddikte van 20 cm aangehouden met een hoeveel wapening van 200 kg/m<sup>3</sup>.

#### Fundering

Het gehele kunstwerk (vaste en regelbare doorlaat) zal ook gefundeerd moeten worden. Hiervoor kan een paalfundering worden toegepast. Gezien de mergelondergrond zullen dit geboorde palen zijn. Voor een eerste inschatting zijn schroefpalen van beton van 5 m gehanteerd met een hart-op-hart afstand van 2 m.

## Uitvoering

Gezien de toepassing van in het werk gestort beton en schroefbalen, zal er in den droge gewerkt moet worden. Dit kan bijvoorbeeld door een bouwkuip van damwanden te maken en de geul tijdens de uitvoering tijdelijk om te leiden.

## 5.3 Kosteninschatting

Voor beide locaties is op basis van kentallen en ervaring uit eerdere projecten een kosteninschatting gemaakt van de directe bouwkosten. Voor de gehanteerde eenheidsprijzen geldt een onzekerheidsmarge van 50 %. De kosten zijn onderverdeeld in de Dam en het Doorlaatmiddel.

De kosteninschatting van de dam is gebaseerd op eenheidsprijzen van vergelijkbare projecten. Deze prijzen zijn redelijk goed in te schatten, omdat het standaard werkzaamheden zijn met een relatief eenvoudige uitvoeringsmethode. In onderstaande tabellen zijn de inschattingen van de directe bouwkosten voor de twee locaties uitgewerkt voor de dam, overlaat en het doorlaat middel exclusief het regelwerk en tijdelijke bouwvoorzieningen. Het betreft een bedrag van circa 1 MEUR voor de Volmolen en 0.5 MEUR voor Valkenburg (+/- 50 %)

Voor het doorlaatmiddel zijn de kosten een stuk onzekerder. Voor het doorlaatmiddel zijn de kosten voor de betonnen doorlaatkoker en de fundering ingeschat op basis van eenheidsprijzen, die redelijk ingeschat kunnen worden. Voor het regelwerk en de bouwwerkzaamheden ligt dit moeilijker. Door de gekozen constructie met een enkele doorlaatopening zijn dit geen standaardonderdelen. Voor een goede kostenraming zal dit onderdeel in meer detail uitgewerkt moeten worden. Denk hierbij aan het specifieke hefmechanisme, een krachtenberekening en daarmee een dimensionering van de staalconstructie van de hefdeur en de bedienings- en besturingsinstallatie. Ook de bouwmethode is van grote invloed op de prijs. Het is aannemelijk dat deze werkzaamheden in een droge bouwkuip uitgevoerd moeten worden. De aannemer zal daarom een uitvoeringsmethode moeten toepassen, waarmee hij in den droge kan werken zonder de Geul te verleggen. De kosten voor deze methode zijn op basis een schetsontwerp niet met een redelijke vorm van zekerheid in te schatten en zijn daarom niet opgenomen. Voor het regelwerk is een bandbreedte inschatting gemaakt voor de kosten van de hefdeur (1,41 x 8,00 m), geleidingen, hefmechanisme en elektrotechnische installatie. Deze kosten liggen in de ordegrootte van EUR 500.000-1.000.000. Hierin zijn niet opgenomen de kosten voor de energievoorziening en de glasvezelkabel t.b.v. de besturing naar het object omdat niet bekend is waar deze vandaan moeten komen. Ook is uitgangspunt een buitenopstelling, geen technisch gebouw.

Hiermee komt de inschatting voor de totale directe kosten op 1.5-2 MEUR voor de Volmolen en 1-1.5 MEUR voor Valkenburg

Tabel 5.1 Kosteninschatting Volmolen dam, overlaat en doorlaatmiddel (exclusief regelwerk)

| Onderdeel                                               | Hoeveelheid           | Eenheidsprijs           | Kosten [EUR]   |
|---------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|
| <b>dam+overlaat</b>                                     |                       |                         |                |
| maaiveld bouwrijp maken                                 | 7.434 m <sup>2</sup>  | 2 EUR/m <sup>2</sup>    | 14.868         |
| leveren en aanbrengen klei (Cat 2. of hoger)            | 21.982 m <sup>3</sup> | 30.2 EUR/m <sup>3</sup> | 663.868        |
| profileren en inzaaien                                  | 7.027 m <sup>2</sup>  | 1.8 EUR/m <sup>2</sup>  | 12.649         |
| leveren en aanbrengen geotextiel                        | 1.067 m <sup>2</sup>  | 5 EUR/m <sup>2</sup>    | 5.335          |
| leveren en aanbrengen Breuksteen 10-60 kg               | 499 ton               | 40 EUR/ton              | 19.974         |
| <b>totaal dam + overlaat</b>                            |                       |                         | <b>716.695</b> |
| <b>doorlaatkoker (exclusief regelwerk)</b>              |                       |                         |                |
| leveren en aanbrengen doorlaat gewapend beton           | 165 m <sup>3</sup>    | 1000 EUR/m <sup>3</sup> | 165.000        |
| fundering van schroefpalen 5 m lang                     | 51 stuks              | 2000 EUR/stuk           | 102.000        |
| leveren en aanbrengen bodembescherming 10-60 kg         | 95 ton                | 40 EUR/ton              | 3.791          |
| <b>totaal doorlaatconstructie (exclusief regelwerk)</b> |                       |                         | <b>270.791</b> |
| <b>totaal (exclusief regelwerk)</b>                     |                       |                         | <b>987.486</b> |

Tabel 5.2 Kosteninschatting Valkenburg dam, overlaat en doorlaatmiddel (exclusief regelwerk)

| Onderdeel                                        | Hoeveelheid           | Eenheidsprijs           | Kosten [EUR]   |
|--------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|
| <b>dam+overlaat</b>                              |                       |                         |                |
| maaiveld bouwrijp maken                          | 8.206 m <sup>2</sup>  | 2 EUR/m <sup>2</sup>    | 16.412         |
| meveren en aanbrengen klei (Cat 2 of hoger)      | 10.374 m <sup>3</sup> | 30.2 EUR/m <sup>3</sup> | 313.287        |
| profileren en inzaaien                           | 6.849 m <sup>2</sup>  | 1.8 EUR/m <sup>2</sup>  | 12.328         |
| leveren en aanbrengen geotextiel                 | 1.841 m <sup>2</sup>  | 5 EUR/m <sup>2</sup>    | 9.207          |
| leveren en aanbrengen Breuksteen 10-60 kg        | 1.306 ton             | 40 EUR/ton              | 52.229         |
| <b>totaal dam + overlaat</b>                     |                       |                         | <b>403.462</b> |
| <b>doorlaatconstructie (exclusief regelwerk)</b> |                       |                         |                |
| leveren en aanbrengen doorlaat gewapend beton    | 84 m <sup>3</sup>     | 1000 EUR/m <sup>3</sup> | 84.000         |
| fundering van schroefpalen 5 m lang              | 21 stuks              | 2000 EUR/stuk           | 42.000         |
| leveren en aanbrengen bodembescherming 10-60 kg  | 101 ton               | 40 EUR/ton              | 4.025          |
| <b>doorlaatconstructie (exclusief regelwerk)</b> |                       |                         | <b>130.025</b> |
| <b>totaal (exclusief regelwerk)</b>              |                       |                         | <b>533.487</b> |

## 5.4 Beheeraspecten

Voor het beheer van de dam zijn in deze paragraaf de voornaamste aspecten uitgewerkt.

### 5.4.1 Beheer van de dam

De dam is relatief eenvoudig te onderhouden en behoeft geen speciale aandacht ten opzichte van andere waterkeringen binnen het waterschap. Het voornaamste is dat de dammen regelmatig worden gemaaid en dat houtopstand wordt verwijderd. Met name rondom de overlaat is dit van belang, daar kan houtopstand de bescherming van breuksteen aantasten wat kan leiden tot erosie bij het in werking treden van de overlaat.

### 5.4.2 Beheer van het doorlaatmiddel

#### Betonkoker

De betonkoker heeft geen noemenswaardig onderhoud nodig. Aangezien de constructie van gewapend beton is, dienen beschadigingen aan het betonwerk die het wapeningsstaal blootleggen wel te worden hersteld. Als dit niet gebeurt kan het wapeningsstaal corroderen wat de integriteit van de koker aantast.

#### Regelbare doorlaat

Indien voor een regelbare doorlaat wordt gekozen komen hier de volgende beheerszaken naar voren:

- (jaarlijkse) inspecties op de constructie:
  - hefdeur;
  - blokkades of belemmeringen in het hefmechanisme;
  - controle elektrotechnische installatie;
- controle op werking regelingen (automatisering of op afstand);
- controle op protocollen (zijn deze nog actueel).

#### Maatregelen tegen drijfhout en drijfvuil

De Geul staat bekend om grote hoeveelheden drijfhout in grote buien. In afbeelding 5.4, afbeelding 5.5 en afbeelding 5.6 zijn enkele foto's opgenomen van drijfhout voor de opening van de Geul sifons onder het Julianakanaal (bron: Thesis\_Hydraulic behaviour of the Geul inverted Siphon, D. Ronckers,). Deze Geulsifons liggen 10 km benedenstrooms van Valkenburg en 22 km benedenstrooms van Volmolen.

Afbeelding 5.4 Drijfhout na juli 2021 bui



Afbeelding 5.5 Drijfhout na februari 2022 bui



Afbeelding 5.6 Drijfhout, datum onbekend



Bovenstaande foto's geven een indicatie hoe groot en hoeveel drijfhout mogelijk is in de Geul. Deze foto's zijn zeer waarschijnlijk ook indicatief zijn voor het drijfhout op de damlocaties. Daaruit volgt dat het aanleggen van dammen met geknepen doorlaten een risico geeft op verstopping. Dit kan een negatief effect hebben op het functioneren van het doorlaatsysteem.

Zowel vaste als regelbare doorlaten zijn, vanuit oogpunt van drijfhout, dus een risico:

- een vaste doorlaat is kleiner dan een regelbare dus gevoeliger voor verstopping;
- een regelbare doorlaat kan bij sluiting worden gehinderd door drijfhout, dit vergroot het faalrisico.

Vanuit het oogpunt van drijfhout is het dus in principe niet wenselijk om de dammen aan te leggen met knijpende doorlaten. Desondanks kan voor WRL dit risico wel opwegen tegen de voordelen van de damconstructies. In elk geval is voor beide varianten is een goede houtvang essentieel, en dient onderdeel te zijn van de volgende ontwerpfase.

# 6

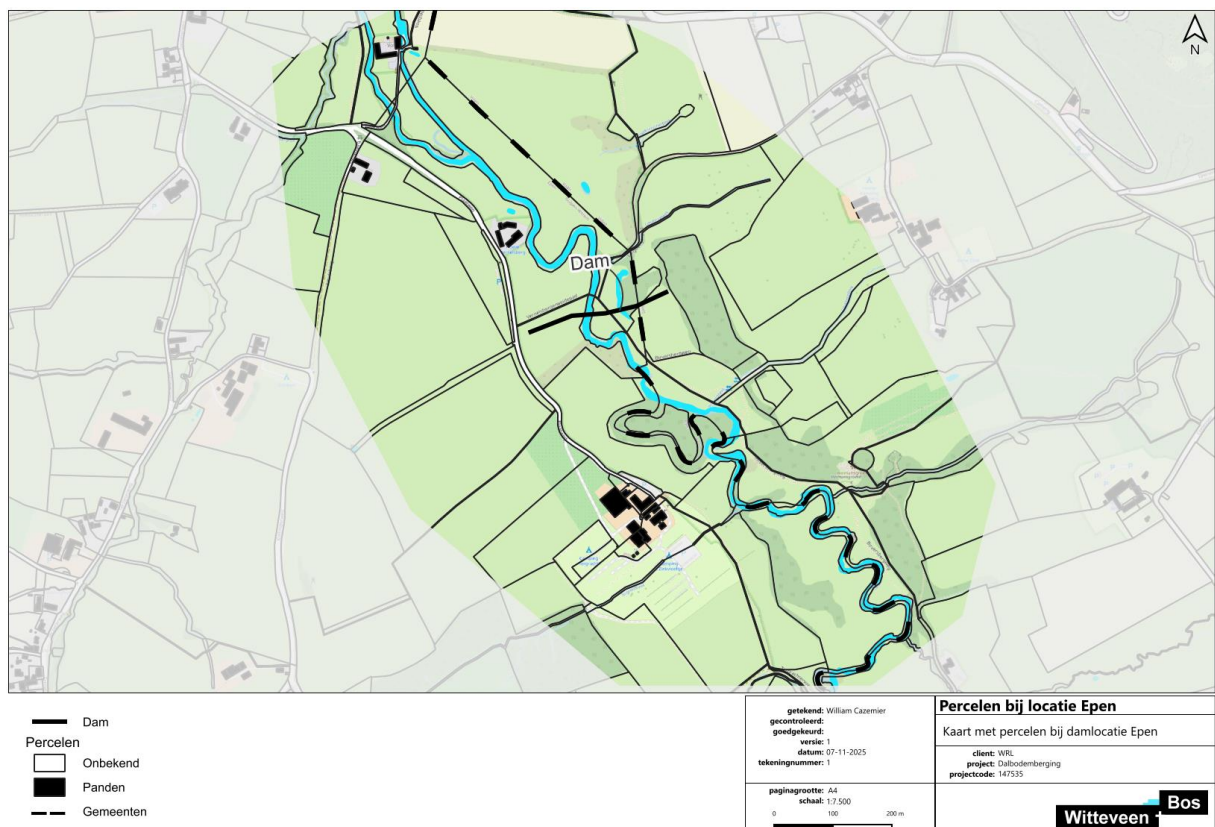
## ANALYSE KADERS EN OMGEVINGSASPECTEN

Voor de realisatie van de dalbodemberging is in de verkenning onderzoek gedaan naar de kaders en omgevingsaspecten waarbinnen dit kan worden uitgevoerd. In dit hoofdstuk zijn hiervan de resultaten gepresenteerd. Er is een inventarisatie gemaakt van mogelijke knelpunten voor de constructie van een dam bij Valkenburg en Volmolen. Bij deze inventarisatie is gekeken naar natuurgebieden, perceelgegevens, objecten met een monumentale waarde en gebieden met een specifieke archeologische waarde. Daarnaast is overkoepelend voor beide projecten gekeken naar de mogelijke vergunningen die aangevraagd moeten worden.

### 6.1 Volmolen

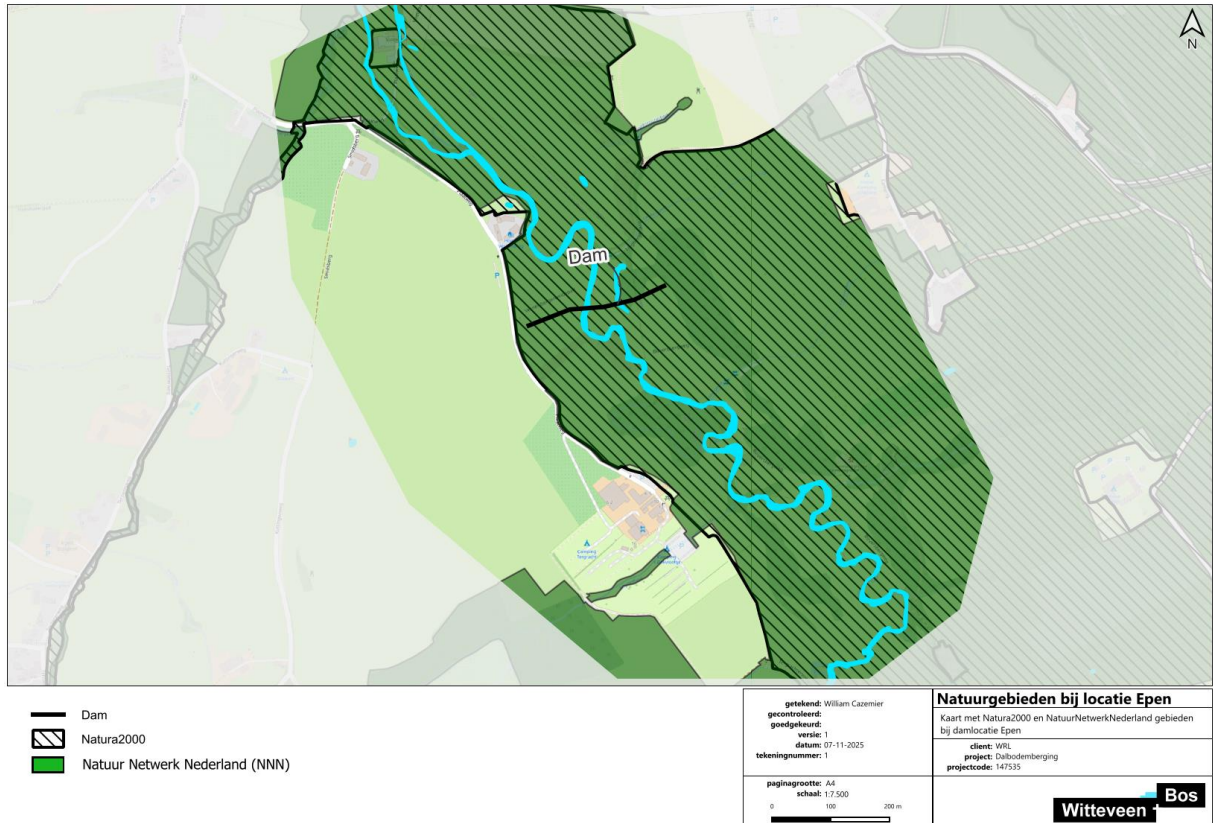
Afbeelding 6.1 geeft de percelen bovenstrooms van de damlocatie weer. Hierin is te zien dat de dam zich in een beperkt aantal percelen bevindt. Dit is voordelig omdat dan ook maar een beperkt aantal eigenaren benaderd hoeven worden voor het gebruik van deze percelen. Op deze percelen staan geen constructies. Onbekend is of deze percelen publiek of privaat zijn. De beoogde locatie van de dam bevindt zich in twee gemeenten, namelijk 'Gulpen en Wittem' en 'Vaals'. Hierdoor is afstemming met twee gemeentes nodig.

Afbeelding 6.1 Volmolen Percelen



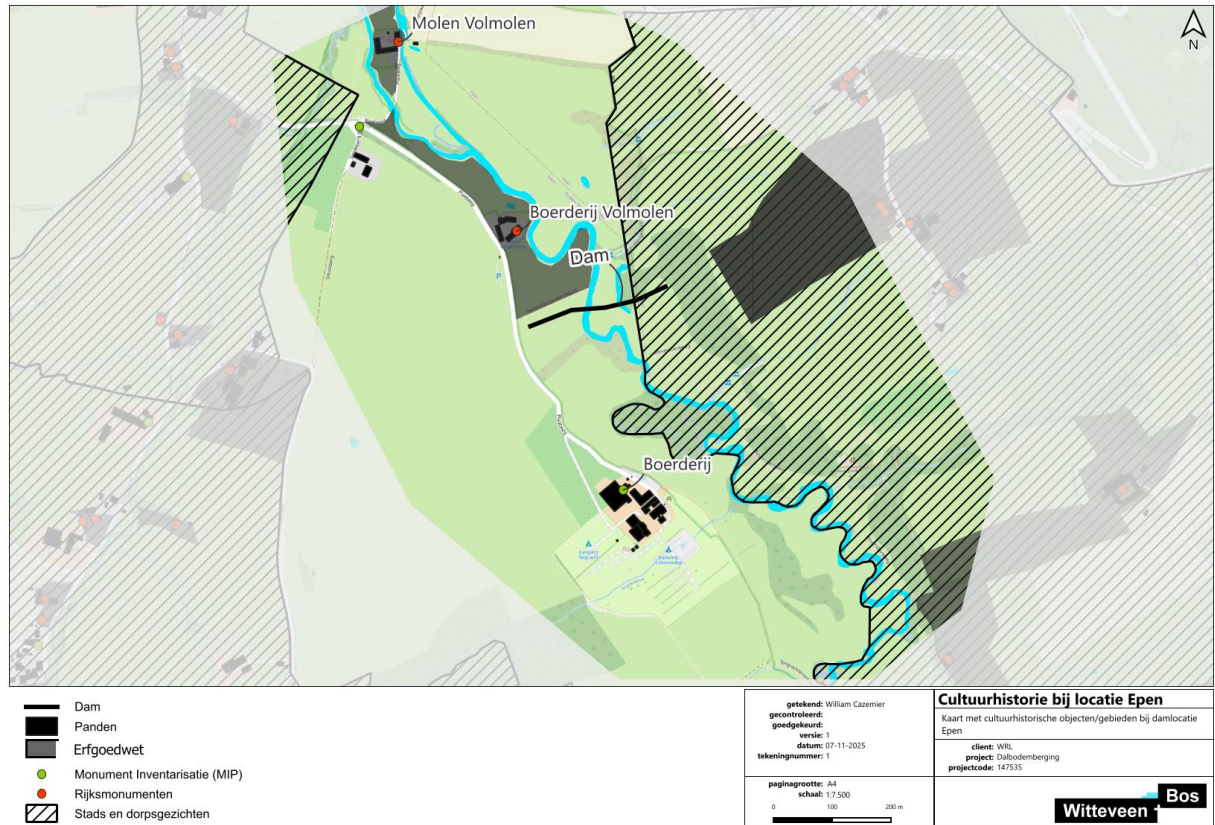
In afbeelding 6.2 zijn de relevante natuurgebieden rondom de damlocatie bij Volmolen zijn weergegeven. Hieruit blijkt dat de volledige dam en zijn inundatiegebied zich bevinden in natuurgebied, namelijk Natura2000 en NNN (Natuur Netwerk Nederland). Dit betekent bij de bouw rekening gehouden moet worden met de aanvullende eisen die vanuit deze beide natuurwaarden gelden. Dit is daarmee een aandachtspunt, maar geen showstopper.

Afbeelding 6.2 Volmolen Natuurgebieden



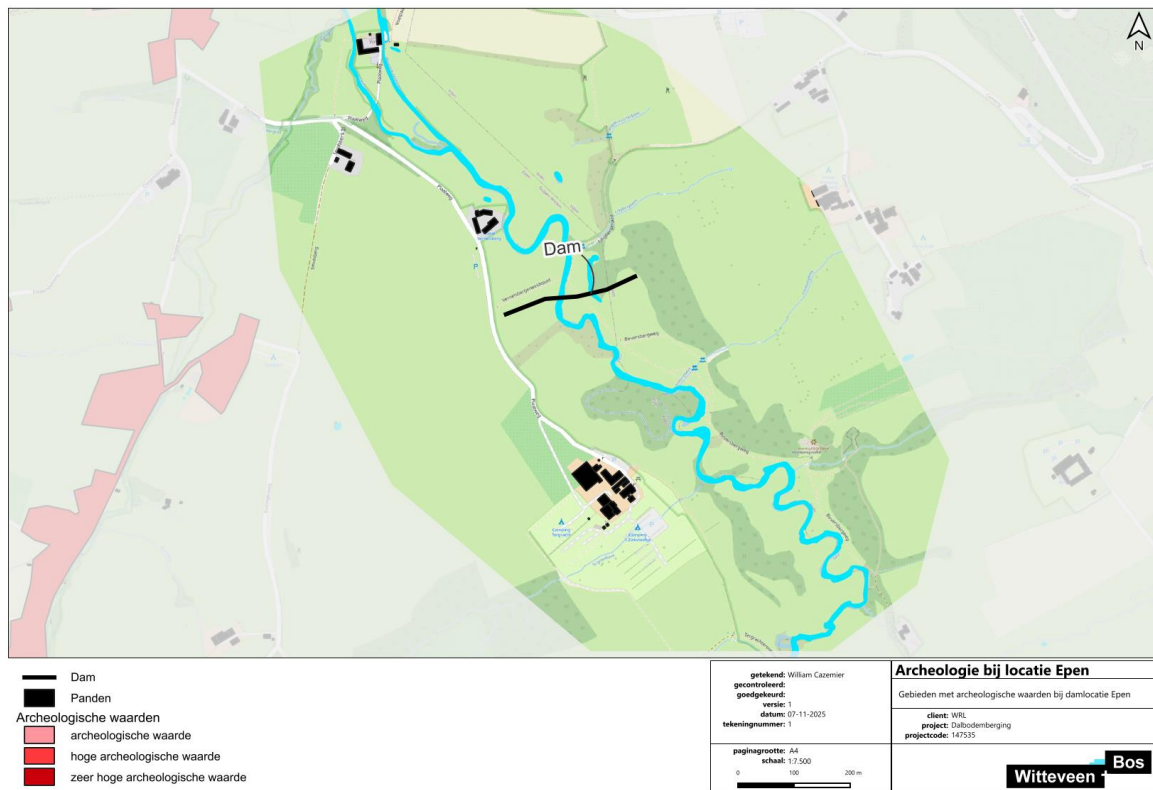
In afbeelding 6.3 zijn de objecten en gebieden met culturele waarde rondom de damlocatie bij Volmolen weergegeven. Hierin is te zien dat de dam zich voor een klein in gebied bevindt wat onder 'stads en dorpsgezichten' valt. Er is een rijksmonument (Boerderij Volmolen) wat zich dichtbij de damlocatie bevindt, net als een boerderij die onder 'Monument Inventarisatie' valt. Op basis van deze informatie zal naar de voorwaarden gekeken moeten worden voor het stads- en dorpsgezicht voor de bouw van de dam.

Afbeelding 6.3 Volmolen Cultuur



In afbeelding 6.4 zijn de gebieden weergegeven met een archeologische waarde. Uit deze afbeelding blijkt dat er geen gebieden aanwezig zijn rondom de dam met een archeologische waarde.

Afbeelding 6.4 Volmolen Archeologie



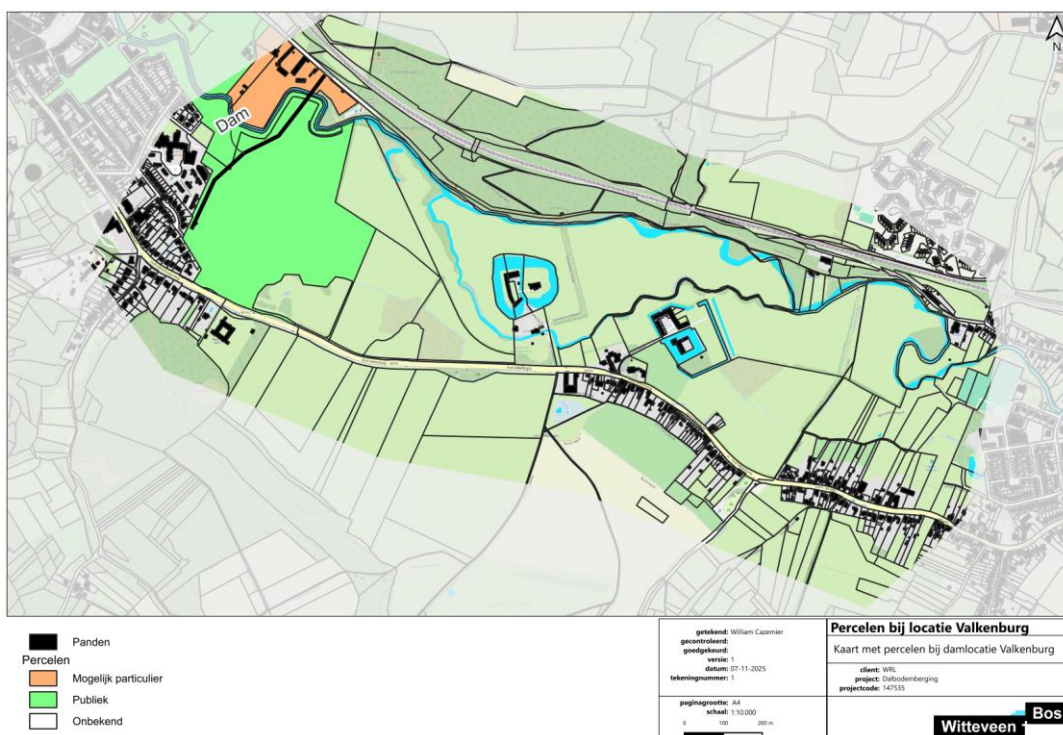
## 6.2 Valkenburg

### Percelen

Afbeelding 6.5 geeft de percelen bovenstrooms van de damlocatie weer. Vanuit het project 'bypass Valkenburg' zijn perceel gegevens opgevraagd rondom ten hoogte van de dam. Uit deze gegevens kunnen particuliere en publieke percelen geïdentificeerd worden. In de afbeelding is te zien dat de dam grotendeels op publieke percelen staat. Echter, het noordelijke deel van de dam bevindt zich in een mogelijk particulier perceel. Op dit perceel staat Kasteel Oost. In het inundatiegebied van de dam liggen veel percelen waarbij deze gegevens niet zijn opgevraagd en waar dus geen uitspraken over kunnen worden gedaan.

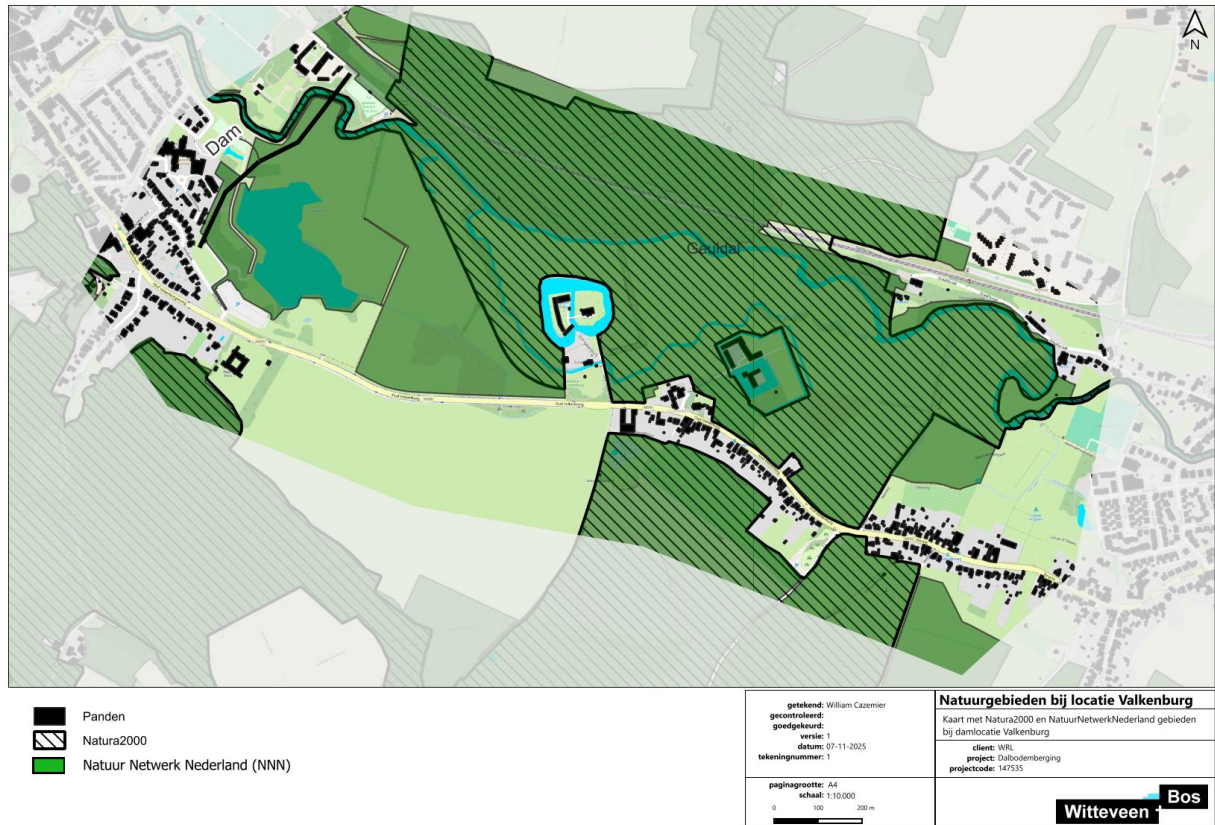
Het grootste aandachtspunt vanuit deze analyse zit bij Kasteel Oost. Het tracé van de dam doorkruist hier het perceel. Gezien de beperkte hoogte van de dam op deze locatie is deze mogelijk wel in te passen in het perceel, maar hiervoor is nauw overleg met de perceeleigenaren nodig.

Afbeelding 6.5 Valkenburg Percelen



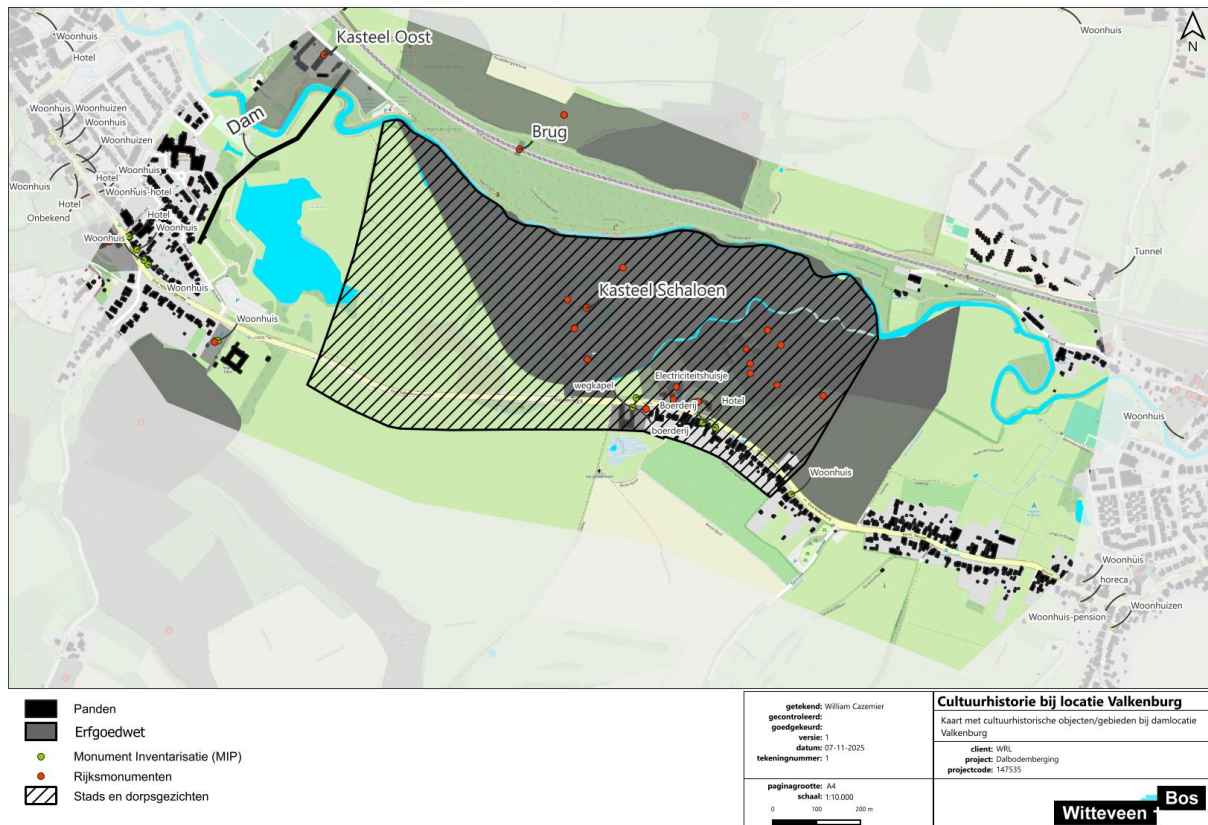
Afbeelding 6.6 geeft de natuurgebieden rondom de dam bij Valkenburg weer. Dit betreft Natura2000-gebieden en NNN gebieden (Natuur Netwerk Nederland). De dam doorkruist het NNN gebied en het inundatiegebied bevindt zich in Natura2000-gebied. Dit betekent bij de bouw rekening gehouden moet worden met de aanvullende eisen die vanuit deze beide natuurwaarden gelden. Dit is daarmee een aandachtspunt, maar geen showstopper.

Afbeelding 6.6 Valkenburg Natuurgebieden



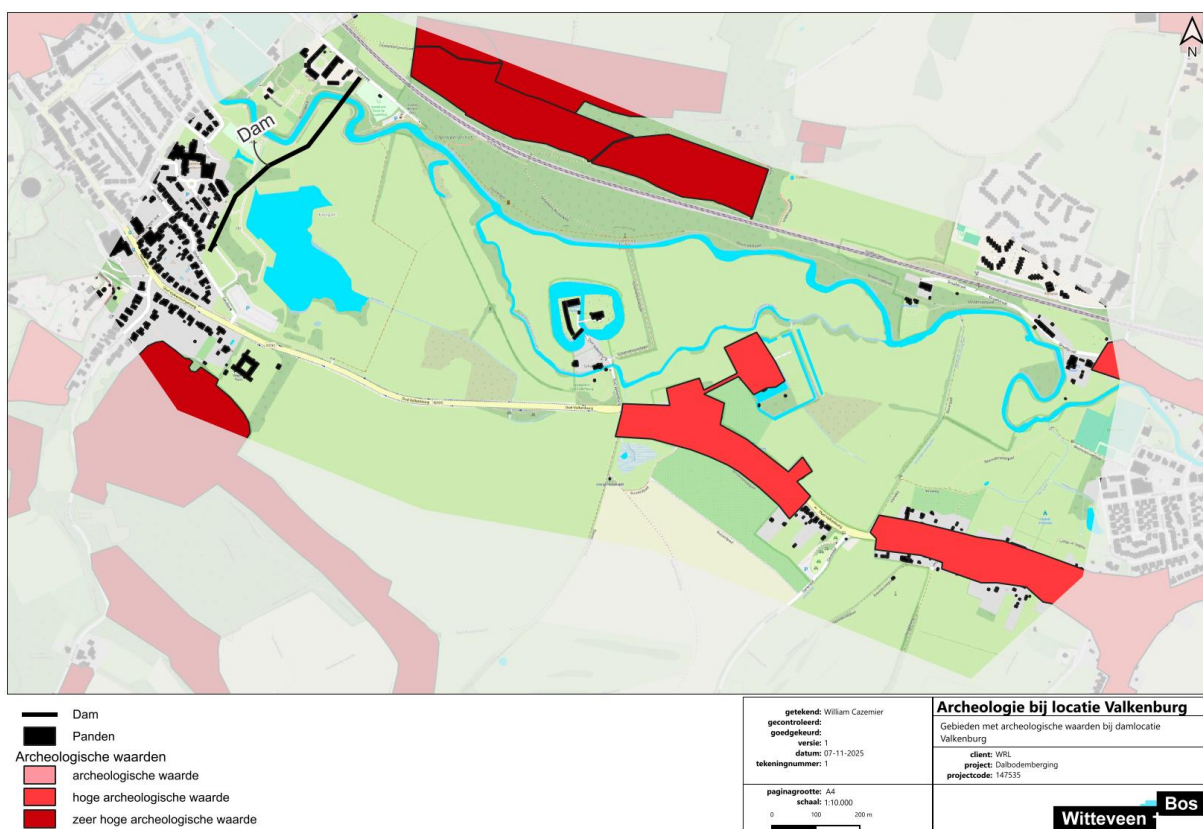
Afbeelding 6.7 geeft objecten en gebieden weer met een culturele waarde. Dit betreft monumentale objecten, evenals gebieden die onder de erfgoedwet vallen en onder 'stads en dorpsgezichten'. De dam doorkruist het perceel bij Kasteel Oost, dat de status 'Rijksmonument' heeft. Daarnaast valt het perceel waar Kasteel Oost op staat onder de erfgoedwet. In het inundatiegebied bevinden zich meerdere objecten en gebieden die een culturele waarde hebben. Hiermee is wederom het perceel bij Kasteel Oost een belangrijk aandachtspunt voor de realisatie van de dam.

Afbeelding 6.7 Valkenburg Cultuurhistorie



Afbeelding 6.8 geeft gebieden weer met een archeologische waarde. Hierin is te zien dat de dam zich niet in een gebied bevindt met een archeologische waarde. Dit geldt eveneens voor het inundatie gebied.

Afbeelding 6.8 Valkenburg Archeologie



## 6.3 Gebiedsoverkoepelende aspecten

In de voorgaande paragrafen zijn de gebied specifieke aspecten omschreven. In deze paragraaf zijn de overkoepelende aspecten omschreven waarbij is gekeken naar de vispasseerbaarheid, de morfologie en de vergunningenscan.

### Vispasseerbaarheid

De dam en doorlaatvoorziening mogen geen negatieve impact hebben op de vispasseerbaarheid. Om die reden is een ecoloog gevraagd om zijn bevindingen te geven op de ontwerpen. Hieruit kwamen de volgende punten naar voren:

#### Lichtinval

De doorlaatconstructies van de dammen zorgen voor een verminderde lichtinval in het water. Voor vissen is dit echter geen probleem, zij kunnen ook het donker goed hun weg vinden. Ze kunnen er zelfs goed in verblijven. Er zijn pas aanvullende maatregelen nodig als het om een donkere gang van meer dan 100 m gaat, waar binnen dit project geen sprake van zal zijn.

#### Verhoogde stroomsnelheden

Nabij het doorstroommiddel zullen de stroomsnelheden verhoogd zijn. Dit is echter alleen het geval bij verhoogde afvoeren die optreden zodra het doorstroommiddel volledig gevuld is (dus bij extreme omstandigheden). Onder reguliere omstandigheden zijn de stroomsnelheden onveranderd en staan ze de vispasseerbaarheid niet in de weg.

### Inundatie

Vissen kunnen prima omgaan met het inunderen van gebieden. Zij zullen bij hoge afvoeren uit de snelstromende beek gaan en de luwte van de inundatiegebieden opzoeken. Het aandachtspunt komt bij het leeglopen van het gebied. De vissen moeten dan weg kunnen om niet droog te vallen in plassen. Dit kan gedaan worden door ondiepe geulen naar de watergang te maken. Overigens is het een natuurlijk verschijnsel dat vissen droog komen te liggen na een inundatie en komt dit de vogels ten goede. Dit natuurlijke verschijnsel dient dan wel met de omgeving gecommuniceerd te worden om misverstanden te voorkomen.

### Morfologie

Door het toepassen van een dam en doorlaatmiddel kan een wijziging in de morfologie optreden. In het kader van dit project worden echter geen grote invloeden verwacht. De doorlaten zijn gepositioneerd binnen de huidige contouren van de beek met een vergelijkbare breedte. Hierdoor zijn er geen significante wijzigingen in de stoomsnelheden onder reguliere omstandigheden. Onder extreme omstandigheden wordt door het knippen van de afvoer juist lagere morfologische activiteit verwacht. Aandachtspunt hierbij is om de toeloop naar het kunstwerk zo vloeiend mogelijk te laten verlopen en in de directe nabijheid de bodem vast te leggen met een bodembescherming. Dit voorkomt onderspoeling of achterloopsheid van het doorlaatmiddel.

### Vergunningen

Voor de mogelijk aan te vragen vergunningen is in onderstaande tabel een overzicht gemaakt van het type vergunning, de grondslag, bij welk bevoegd gezag dit is en wat de procedure is. Hieruit volgen geen directe showstoppers.

Tabel 6.1 Vergunningenscan

| Vergunningsplicht                           | Grondslag                                                                                                                                                                                             | Bevoegd Gezag         | Procedure                  |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Buitenplanse omgevingsplan-activiteit.      | Artikel 5.1, eerste lid, aanhef en onder a Omgevingswet.                                                                                                                                              | gemeente              | regulier                   |
| Wijziging omgevingsplan.                    | Artikel 4.2, eerste lid Omgevingswet.                                                                                                                                                                 | gemeente              | uitgebreid                 |
| Natura 2000 activiteit.                     | Artikel 5.1, eerste lid, aanhef en onder e Omgevingswet.                                                                                                                                              | provincie             | uitgebreid                 |
| Flora- en fauna-activiteit.                 | Artikel 5.1, tweede lid, aanhef onder g Omgevingswet.                                                                                                                                                 | provincie             | regulier                   |
| Meldplicht vellen van houtopstanden.        | Artikel 11.126 Besluit activiteiten leefomgeving (meldplicht vellen houtopstanden).<br>Artikel 11.129 Besluit activiteiten leefomgeving (plicht tot herbeplanting).<br>Artikel 3.9.1 VFLO Valkenburg. | provincie<br>gemeente | 4 weken van tevoren melden |
| Ontgrondingsactiviteit.                     | Artikel 5.1, eerste lid, aanhef en onder c Omgevingswet.<br>Artikelen 16.7, 16.8 en 16.9 Bal (vrijstellingen).                                                                                        | provincie             | regulier                   |
| Omgevingsvergunning Omgevingsverordening.   | Artikel 7.4, eerste lid, Omgevingsverordening Limburg.                                                                                                                                                | provincie             | regulier                   |
| Omgevingsvergunning Waterschapsverordening. | Artikel 5.3 Omgevingswet<br>Artikel 2.23 Waterschapsverordening Limburg.                                                                                                                              | waterschap            | regulier                   |

## 6.4 Conclusie

Uit de analyse in dit hoofdstuk blijkt dat er geen grote showstoppers zijn voor de realisatie van de dalbodemberging. Er zijn wel enkele aandachtspunten, waarvan de voornaamste is de doorkruising van de dam bij het Kasteel Oost in Valkenburg.

MULTICRITERIA ANALYSE

7.1 Criteria

Voor het maken van een afweging van het type doorlaatmiddel dat verder zal worden uitgewerkt is een multicriteria analyse opgesteld. Hierbij zijn de volgende onderdelen beschouwd:

- hydraulische prestatie: hoe goed is het doorlaatmiddel in het reguleren van het debiet en wat is het effect op de effectiviteit van de berging?
- betrouwbaarheid: is er kans op het niet werken of beschadigen/bezwijken van het doorlaatmiddel?
- risico: wat is het risico dat de constructie faalt?
- beheer: hoeveel beheer is er te verwachten?
- onderhoud: welk type onderhoud is te verwachten?
- toekomstbestendigheid: hoe toekomstbestendig is het doorlaatmiddel?
- kosten: kwalitatieve inschatting van de kosten voor het doorlaatmiddel en aanverwante zaken;
- milieu:
  - vismigratie: wat is de invloed van het doorlaatmiddel op de vismigratie?
  - morfologie: heeft het doorlaatmiddel invloed op de morfologie in het gebied?
  - inundatiefrequentie: zorgt het doorlaat middel voor ongewenste inundatie bij lagere afvoeren?

7.2 Multicriteria tabel

In onderstaande tabel is per variant een beschrijving en score per onderdeel weergegeven. Hierbij geldt: 1=Zeer negatief (--), 2=Negatief (-), 3=Neutraal (+/-), 4=Goed (+), 5= Zeer goed (++)

Tabel 5.1 Multicriteria analyse doorlaatmiddel

| Aspect                                                                     | Vaste Doorlaat |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Direct regelbare doorlaat |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hydraulische prestatie: effectiviteit van de berging in middelgrote buien. | 3              | In middelgrote buien zal de dam met vaste doorlaat constructie een positief effect hebben. Over het algemeen kan gesteld worden dat er tot 60 m³/s door Valkenburg kan stromen. Met een dam met vaste doorlaat kan een iets grotere afvoergolf ook veilig worden afgevoerd. Echter is deze afvoergolf wel kleiner van de afvoergolf die met een regelbare doorlaat veilig kan worden afgevoerd. Dit komt omdat bij een vaste doorlaat ongeveer de helft van de berging ineffectief wordt. | 5                         | In middelgrote buien kan de regelbare doorlaat goed functioneren. De exacte prestatie zal afhangen van de afvoergolf. Over het algemeen kan gesteld worden dat er tot 60 m³/s door Valkenburg kan stromen. De dam zorgt ervoor dat afvoergolven met een iets hoger piekdebiet geheel veilig kunnen worden afgevoerd.                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Hydraulische prestatie: effectiviteit van de berging in grote klimaatbuien | 2              | Uit de analyses blijkt dat bij grote buien 40-60% van de berging (boven de dode berging) ineffectief wordt wanneer wordt gekozen voor een vaste doorlaat. Bij hele grote buien zoals in juli 2021 is dit verschil echter niet meer relevant, omdat bij zowel een vaste als regelbare doorlaat de berging al vol zit.                                                                                                                                                                      | 4                         | Uit de analyses blijkt dat bij grote buien 40-60% van de berging (boven de dode berging) ineffectief wordt wanneer wordt gekozen voor een vaste doorlaat. Bij hele grote buien zoals in juli 2021 is dit verschil echter niet meer relevant, omdat bij zowel een vaste als regelbare doorlaat de berging al vol zit.                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Betrouwbaarheid                                                            | 5              | Statisch object dat nauwelijks beïnvloed wordt door externe factoren of schadegevoelig is.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 3                         | Meer points-of-failure:<br>- werking is afhankelijk van de bediening door mensen of algoritme.<br>- bewegende onderdelen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Risico                                                                     | 5              | Statisch object. Maximaal doorlaatdebiet is gefixeerd.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 2                         | Risico is Kans x Gevolg. Wanneer goed gebouwd en beheerd is de kans dat een regelbare doorlaat faalt klein. Echter is het gevolg van dit falen potentieel heel groot. Bij Volmolen kan in het meest ongunstige faalscenario (scenario 3) het piekdebiet zelfs groter zijn dan het piekdebiet van de afvoergolf zonder dam.<br><br>Onnodige of zelfs extra overstromingsschade kan daardoor optreden. Daarom wordt het risico dat hoort bij het falen van een regelbare schuif groot geacht.<br><br>Het op deze wijze falen van de regelbare zou kunnen leiden tot imagoschade voor WRL. |
| Beheer                                                                     | 5              | Geen beheer nodig.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1                         | Doorlopend beheer nodig om meetnet en gedrag van schuif te garanderen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Onderhoud                                                                  | 4              | Vrijwel geen onderhoud, anders dan het schoon en vrijhouden van de doorlaat.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2                         | Regelmatig onderhoud op de bewegende delen doorlaat en meetsensoren.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Toekomstbestendigheid                                                      | 3              | De vaste doorlaat kan niet erg flexibel worden ingezet. Wel kan de vaste capaciteit worden vergroot als er bij aanleg rekening is gehouden met deze mogelijkheid. Of worden verkleind door het aanbrengen van vaste schotbalken. Daarmee is deze variant toch enigszins flexibel.                                                                                                                                                                                                         | 5                         | Een regelbare doorlaat is het meest flexibel inzetbaar. De instelling kan worden veranderd in de toekomst bij nieuwe inzichten of aanpassingen in het watersysteem van de Geul. Ook kan worden gekozen om de doorlaat meer te openen wanneer de overlaat in werking treedt, zodat het overtollig water beheerder door/over de dam stroomt dan bij een vaste doorlaat. Ook kan dit systeem mogelijk zelfs slim worden gestuurd in combinatie met sturing van andere dammen en op basis van weersverwachtingen.                                                                           |
| Kosten                                                                     | 5              | Eenvoudigste en daarmee goedkoopste oplossing.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 3                         | Duurder door regelbare en bestuurbare bewegende delen en het bijbehorende beheersysteem.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Milieu - Vismigratie                                                       | 3              | Niet onderscheidend, het stroombeeld voor alle doorlaatmiddelen is vergelijkbaar. Dit onderdeel is met name afhankelijk van de keuze tussen een open of dichte constructie.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 3                         | Niet onderscheidend.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Milieu - morfologie                                                        | 2              | Rondom de doorlaat kunnen morfologische effecten optreden vanwege de versnelling van de stroming rondom het object. Wanneer de berging in gebruik is, kunnen ook in de uiterwaarden morfologische effecten optreden door de afname van de stroomsnelheden.                                                                                                                                                                                                                                | 3                         | Rondom de doorlaat kunnen morfologische effecten optreden vanwege de versnelling van de stroming rondom het object. Wanneer de berging in gebruik is, kunnen ook in de uiterwaarden morfologische effecten optreden door de afname van de stroomsnelheden. Omdat bij lagere afvoeren de effecten van een regelbare doorlaat op de afvoer kleiner zijn dan een vaste doorlaat, scoort deze variant positiever.                                                                                                                                                                           |
| Milieu - inundatiefrequentie                                               | 2              | De doorlaat heeft een opstuwende werking op de waterstanden bovenstrooms van de dam. Tussen 10 m3/s en 50 m3/s (Volmolen) en 24 m3/s en 60 m3/s (Valkenburg) is dit effect groter dan bij de direct regelbare doorlaat. De opstuwung kan de inundatiefrequentie van gebieden bovenstrooms van de dam beïnvloeden.                                                                                                                                                                         | 4                         | De berging gaat pas vullen wanneer het maximale doorlaatdebiet wordt bereikt, en nagenoeg niet bij lagere afvoeren. De inundatiefrequentie veranderd niet of nauwelijks ten opzichte van de huidige situatie.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

### 7.3 Conclusies uit MCA

Uit de MCA tabel en de voorgaande hydraulische analyse komen enkele conclusies duidelijk naar voren;

- het kiezen voor een regelbare doorlaat heeft een zeer positief effect op de effectiviteit van de dam. Op hoofdlijnen wordt gezien dat een dam met regelbare doorlaat circa 2x zo veel effectieve berging creëert als een dam met een vaste doorlaat;
- een regelbare doorlaat verlaagd ook de negatieve impact van de dam op de omgeving. De morfologische effecten en toename in inundatiefrequentie is bij een geregelde doorlaat lager dan bij een vaste doorlaat;
- een vaste doorlaat heeft juist als groot voordeel dat deze een grotere betrouwbaarheid heeft en weinig beheer- en onderhoudsinspanning kent;
- de realisatie, beheer- en onderhoudskosten van een vaste doorlaat zijn lager.

Eenzijds heeft de regelbare doorlaat hele duidelijke functionele voordelen ten opzichte van een vaste doorlaat. Anderzijds heeft een vaste doorlaat duidelijke voordelen op het gebied van betrouwbaarheid en risico. Daarom is er op basis van deze studie geen duidelijk advies uit te brengen over de voorkeursvariant.

WRL dient te bepalen aan welke aspecten zij de grootste waarde toekent. Daarbij worden 3 mogelijke redeneerlijnen gezien.

#### Redeneerlijn 1

Het gevolg van een systeemfalen van een regelbare doorlaat is dermate negatief dat WRL de voorkeur geeft aan een vaste doorlaat, dan:

- volgt hieruit dat de netto bergingswinst van elke dam maar (circa) half zo groot is dan met een regelbare doorlaat zou zijn geweest;
- om een bepaald gewenst bergingsvolume te behalen moeten dus 2x zoveel dammen met vaste doorlaat worden gebouwd als met een regelbare doorlaat. (uitgaande van een perfect geregelde regelbare doorlaat);
- wanneer er zoveel van de netto berging niet effectief kan worden ingezet dient vervolgens te worden afgewogen of het inzetten van dammen überhaupt wel een doelmatige maatregel meer is.

#### Redeneerlijn 2

De functionele voordelen van een regelbare doorlaat zijn zo groot dat WRL hier de voorkeur aan geeft, en het bijkomende risico van systeemfalen accepteert, dan:

- volgt hieruit dat het gebruik van alleen dammen om de gehele afvoergolf 1 of 2 tijdelijk te bergen een stuk haalbaarder wordt als maatregel;
- nog steeds moet worden afgewogen of het inzetten van dammen überhaupt wel een doelmatige maatregel. Dit hangt af van het gewenste beschermingsniveau en de realistisch haalbare hoeveelheid berging in het Geuldal.

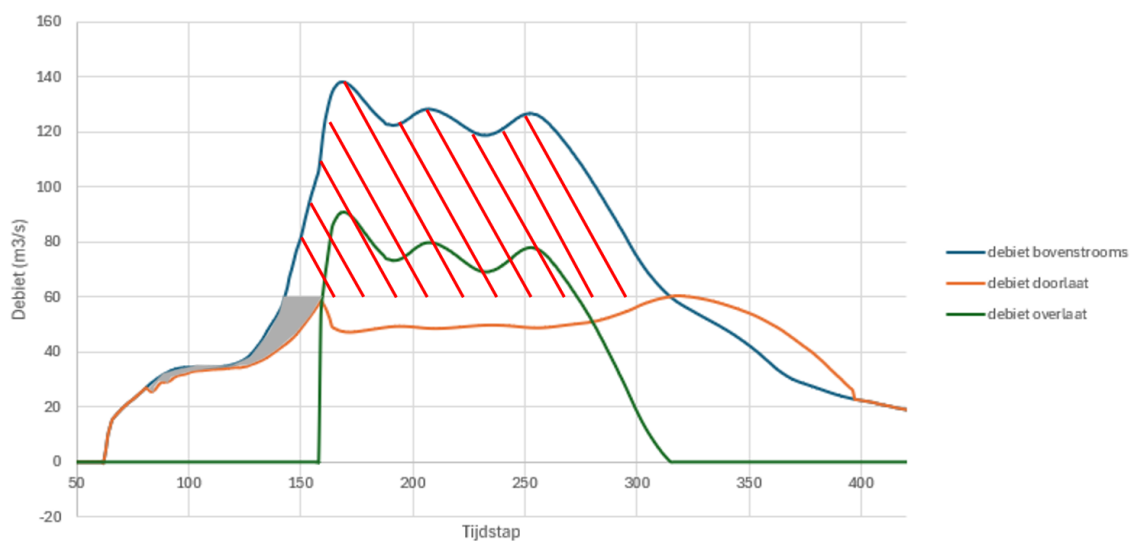
#### Redeneerlijn 3

De huidige beschouwing laat zien dat de keuze tussen een vaste of regelbare doorlaat geen keuze is die duidelijk doorslaat naar de ene of de andere kant. Wanneer deze rapportage onvoldoende onderbouwing geeft voor de keuze kan nader onderzoek kan helpen de keuze beter te informeren.

In dat geval wordt geadviseerd dat WRL nader onderzoek doet naar de volgende vragen:

- hoeveel realistische dam locaties zijn er en wat is het totaalvolume van de beschikbare berging?
- wat is het totaalvolume beschikbare effectieve berging wanneer een vaste doorlaten worden gebruikt en wat is het totaalvolume beschikbare berging wanneer regelbare doorlaten worden gebruikt?
- wat is de ontwerpnorm?
- wat is het volume berging dat nodig is in de ontwerpnorm? Als de ontwerpnorm de juli 2021 bui is dan dient er voldoende bergingsvolume te worden gevonden voor het rood gearceerde gebied in afbeelding 7.1. Op hoofdlijnen kan worden gesteld dat hier circa 2x zoveel dammen met een vaste doorlaat voor nodig zouden zijn dan met een regelbare doorlaat.

Afbeelding 7.1 Rood gearceerd gebied is effectief bergingsvolume benodigd om de gehele bui te bergen



Middels het beantwoorden van deze vragen kan meer inzicht worden verkregen in de doelmatigheid van de dammen binnen het mogelijke maatregelenpakket dat zal worden uitgerold door WRL.

Momenteel is de ontwerpbui onbekend. Dit is de parameter die het grootste effect heeft op de te maken keuze. Immers, ter hoogte van Valkenburg kan er momenteel circa 60 m³/s veilig door de Geul worden afgevoerd. Wanneer de ontwerpnorm 84 m³/s is (huidige T100 en klimaatscenario T100 lower bound) dan is het denkbaar dat het verschil (24 m³/s) met een serie dammen tijdelijk te bergen is. Zelfs wanneer alleen vaste doorlaten worden gebruikt. In dat scenario is het denkbaar dat dammen een zinvolle en mogelijk zelfs afdoende doelmatige maatregel zouden zijn.

Wanneer de ontwerpnorm echter 134 m³/s is (juli 2021 en klimaatscenario T100 upper bound) dan is het denkbaar dat het verschil (74 m³/s) niet te bergen is in een serie dammen. Zelfs niet wanneer deze worden aangelegd met regelbare doorlaten. Dan is het denkbaar dat dammen geen afdoende maatregel zijn en mogelijk niet zinvol zijn.

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Het programma Waterveiligheid en Ruimte Limburg (WRL) werkt toe naar één bestuurlijk besluit over een pakket van maatregelen voor het hele stroomgebied van de geul. Deze studie geeft inzicht in de mogelijkheden van de aanleg van een dam en het effect van het gekozen doorlaatmiddel.

### 8.1 Conclusies hydraulische analyse

In dit rapport is zijn verschillende type doorlaten beschouwd voor de toepassing in een dam om dalbodembergings te creëren tijdens de piek van een hoogwatergolf:

- 1 vaste doorlaat;
- 2 direct regelbare doorlaat;
- 3 geulvernuauwende dam.

Er is een analyse gemaakt op hoofdlijnen om inzicht te krijgen in de verschillen in het hydraulische gedrag van de verschillende doorlaatmiddelen. Op voorhand is hieruit gebleken dat een geulvernuauwende dam hierbij geen realistische optie is. Dit ontwerp leidt bij lage afvoeren al tot het vullen van de berging en inundatie van het achterland.

Voor de overige twee varianten is beschouwd hoe groot de doorlaat typisch zou moeten zijn. Vervolgens is berekend hoe de berging zich vult bij de twee bestudeerde afvoergolven. Uit deze analyse worden de volgende conclusies getrokken:

- het volume dat nodig is om de afvoergolf uit juli 2021 af te vlakken tot het beoogde debiet, is veel groter dan het volume dat beschikbaar is in het bergingsgebied achter de dam. Op zichzelf staand kunnen de dammen in een bui als die van juli 2021 aan benedenstroomse gebieden geen verhoogde bescherming bieden tegen overstroming;
- wanneer er (veel) meer dammen worden aangelegd in de Geul kunnen de dammen mogelijk gezamenlijk wel een significante verhoging van de overstromingsbescherming bieden, zeker wanneer dit wordt gecombineerd met andere maatregelen;
- voor kleinere afvoergolven kunnen de dammen wel een verhoogde bescherming bieden aan benedenstroomse gebieden;
- bij afvoeren tussen ongeveer 10 m<sup>3</sup>/s en 50 m<sup>3</sup>/s (locatie Volmolen) en 24 m<sup>3</sup>/s en 60 m<sup>3</sup>/s (locatie Valkenburg) heeft een vaste doorlaat een grotere opstuwende werking dan een direct regelbare doorlaat. Door deze opstuwing vult de berging zich sneller bij een vaste doorlaat dan bij een regelbare doorlaat;
- voor de doorgerekende afvoergolven is berekend dat een aanzienlijk deel van de berging achter de dam verloren gaat als 'dode berging' of 'ineffectieve berging'. In de rekenresultaten wordt gezien dat bij beide dammen en in beide afvoergolven circa de helft van het bergingsvolume bestaat uit ineffectieve berging:
  - het percentage 'dode berging' is bij beide dammen ongeveer 4 %;
  - het percentage 'ineffectieve berging' is groot en varieert tussen de 42 % en 52 %. Bij een perfect geregelde regelbare doorlaat is dit deel van het volume wel inzetbaar voor berging van de afvoergolf, bij een vaste doorlaat is dan niet het geval;
  - het percentage effectieve berging met een vaste doorlaat wordt berekend op 44 % tot 54 %

- het uitgangspunt 'De overlaat moet zo laat mogelijk in werking treden' is een belangrijk uitgangspunt om te blijven hanteren. Bij een smallere overlaat gaat er een aanzienlijk deel van de beschikbare berging verloren, initieel berekend op 5-14 %;
- wanneer wordt gekozen voor een regelbare doorlaat, zal deze bij falen weinig of geen bescherming bieden tegen de maximale debieten van de afvoergolven. In het meest extreme scenario, waarin de schuif onbedoeld zou openen op het moment dat de berging gevuld is, is het doorgelaten piekdebiet zelfs kortstondig hoger dan het maximale debiet van de afvoergolf. Dit risico doet zich voor bij elke afvoergolf die de berging vult. Ook dus bij afvoergolven die kleiner zijn dan de 2 afvoergolven die in deze studie zijn gebruikt, maar groter zijn dan het maximaal door te laten debiet. Dit risico deels is te ondervangen door de regeling van de regelbare schuif zodanig te ontwerpen dat deze alleen mechanische sluiting regelt, maar niet de mechanische opening.

Er is een MCA opgesteld om een afweging te maken tussen een vaste en regelbare doorlaat. Geconcludeerd wordt uit de MCA dat een regelbare doorlaat hele duidelijke functionele voordelen ten opzichte van een vaste doorlaat. Anderzijds heeft een vaste doorlaat duidelijke voordelen op het gebied van betrouwbaarheid en risico. Om een keuze tussen de twee opties te maken worden 3 mogelijke redeneerlijnen gezien, die nader worden beschreven in hoofdstuk 5. Samengevat zijn de mogelijke redeneerlijnen:

**Redeneerlijn 1:** de functionele voordelen van een regelbare doorlaat zijn dermate groot dat de risico's die zouden volgen uit systeemfalen worden geaccepteerd;

**Redeneerlijn 2:** de gevolgen van een eventueel systeemfalen van een regelbare doorlaat zijn zo groot dat hier niet voor wordt gekozen. Het verlies aan effectieve berging van circa 50 % wordt als nadeel van deze keuze geaccepteerd;

**Redeneerlijn 3:** het blijkt dat de meest bepalende factor in de keuze tussen een vaste doorlaat en een regelbare doorlaat de ontwerpbeurt is waar het systeem voor wordt ontworpen. WRL dient dan eerst deze ontwerpnorm vast te stellen en te analyseren welk volume dalbodemberging realistisch haalbaar is. Met deze informatie kan een beter onderbouwde keuze worden gemaakt tussen de twee opties.

## 8.2 Aanbevelingen Hydraulisch ontwerp

Het programma Waterveiligheid en Ruimte Limburg werkt toe naar één bestuurlijk besluit over een pakket maatregelen voor het gehele stroomgebied van de Geul. De uitkomsten van deze studie helpen dit bestuurlijk besluit te informeren. Om het bestuurlijk besluit te maken dienen de kosten en baten van de maatregelen te worden afgewogen. Om deze afweging mede te informeren wordt geadviseerd om binnen het bestuurlijk besluit (onder andere) de onderstaande lijst vragen te beantwoorden. De antwoorden onderbouwen de keuzes voor het pakket maatregelen en de rol die dalbodemberging daar mogelijk in speelt:

- dient de beschermingsnorm voor panden minimaal T100 te zijn na realisatie van de dam(men)?
- dienen de dammen (mogelijk bij Valkenburg in combinatie met een flood bypass) bescherming te bieden in de T100-bui? En zo ja, van welk klimaatscenario wordt daarbij uitgegaan?
  - volgens klimaat scenario '2085 upper bound' (134 m<sup>3</sup>/s), of;
  - volgens klimaat scenario '2085 lower bound' (84 m<sup>3</sup>/s), of;
- is het mogelijk met meerdere dammen in het Geuldal, in combinatie met andere maatregelen, een wenselijk beschermingsniveau te behalen?

Met het beantwoorden van bovenstaande vragen wordt het besluit over de rol van de dammen binnen het maatregelenpakket geïnformeerd. Voor een vervolgfase van het onderzoek of een vervolgfase in het ontwerp worden de volgende aandachtspunten en aanbevelingen gedaan:

- aanbevolen wordt om alle mogelijke locatie van dammen in beeld te brengen om een totaalbeeld te vormen van de potentiële bergingswinst in de geul ten opzichte van de grote afvoergolven die worden beschouwd in deze studie;
- in deze studie is vastgesteld dat het zo laat mogelijk in werking treden van de overlaat een belangrijk effect heeft op de beschikbare berging. In het ontwerp dan de dammen is het dus van belang dat de overlaat zo hoog mogelijk, en dus zo breed mogelijk is. Een (hele) brede overlaat zal een grote impact hebben op het aanzicht van de dam in de natuurlijke omgeving, zeker wanneer de overlaat met steenbekleding wordt uitgevoerd voor erosiebescherming;

- de toegepaste eendimensionale rekenmethode (bakjes-model) onderschat het volume dode berging bij het vullen van de berging. Voor een nauwkeuriger rekenresultaat van het vullingsgedrag van de bergingen wordt aanbevolen een D-Hydro modelberekening uit te voeren;
- bij het ontwerp van de overlaat dient een afweging te worden gemaakt tussen het aanzicht van dam enerzijds en de ruimtelijke inpassing anderzijds. Om de overlaat te beschermen tegen erosie kan grofweg kan worden gekozen voor 3 ontwerpvarianten:
  - een overlaat met een flauw talud (1:10 of flauwer) bekleed met gras;
  - een overlaat met een flauw talud met een steiler talud (1:3 - 1:5) met steenbekleding;
  - een overlaat met een steil talud (1:1) met een betonnen overlaat en woelbak;
- bij het uitwerken van het ontwerp van de doorlaat dient de hydraulische stroomlijning te worden afgewogen. Een niet-gestroomlijnde doorlaat kan een grotere maat hebben dan een wel gestroomlijnde doorlaat. Het voordeel is dat een grotere doorlaat het risico op blokkade mogelijk iets verkleint;
- er dient een keuze te worden gemaakt voor de gewenste doorlaatcapaciteit. Bij Valkenburg wordt aanbevolen deze niet te dicht bij de maximale capaciteit door Valkenburg te kiezen. Het uitgangspunt in deze studie (60 m<sup>3</sup>/s) is vermoedelijk te groot op deze locatie. Een waarde van circa 50 m<sup>3</sup>/s is waarschijnlijk een realistischere en veiligere waarde;
- de keuze voor een vaste doorlaat heeft als belangrijk nadeel dat deze niet flexibel is voor de toekomst. Dit kan deels worden ondervangen door de doorlaat groter aan te leggen dan nodig en die deels af te sluiten aan de voorzijde. Dit maakt het vergroten van de capaciteit van de doorlaat in de toekomst (bijvoorbeeld als de doorstroomcapaciteit door Valkenburg toeneemt) toch mogelijk zonder een grote civieltechnische ingreep te doen;
- de keuze voor een regelbare doorlaat geeft WRL de mogelijkheid om de schuif verder te openen wanneer de overlaat begint met overstorting. Zo kan het debiet over de overlaat worden beheerst, waardoor de overlaat in theorie kleiner zou kunnen worden uitgevoerd of verder verhoogd. Echter wordt dan geheel vertrouwd op het goed functioneren van de geregelde schuif. Bij falen van dit systeem kan hierdoor juist de gehele dam gaan overstorten, met potentieel een ondermijning van de teen en wash-out tot gevolg;
- het uitgangspunt 'De overlaat van Valkenburg moet een overlaatdebiet van 50 m<sup>3</sup>/s kunnen verwerken' zou in de praktijk in juli 2021 tot een overspoeling van de dam en potentieel een wash-out van de dam hebben kunnen leiden. Geadviseerd wordt om dit uitgangspunt in de VO en DO fase omhoog bij te stellen. In het ontwerp van de dam dient over het geheel van doorlaatcapaciteit, overlaatcapaciteit en erosiebeschermende maatregelen voldoende veiligheidsmarge te zitten. Simpel gezegd dient een grotere bui dan de T100 ook veilig te kunnen worden afgevoerd door en over de dam, zonder dat de dam beschadigd of wegspoelt. Het is van cruciaal belang dat een wash-out van een dam wordt voorkomen, ook in buien groter dan T100. Bij een wash-out ontstaat een grote afvoergolf die juist méér schade zal aanrichten dan zou hebben plaatsgevonden zonder de dam. Dit scenario dient ten alle tijden te worden voorkomen middels een voldoende robuust ontwerp. Geadviseerd wordt om de overlaat in het eindontwerp een minimale capaciteit te geven van het maximale overlaatdebiet in bijvoorbeeld een T1000. Voor deze overcapaciteit kan de vrije hoogte tussen maximaal waterpeil T100 en de damkruin worden ingezet;
- de Geul staat bekend om grote hoeveelheden drijfhout in grote buien. Een doorlaat loopt het risico op verstopping door drijfhout, waardoor het systeem zou kunnen falen:
  - een vaste doorlaat is kleiner dan een regelbare dus gevoeliger voor verstopping;
  - een regelbare doorlaat kan bij sluiting worden gehinderd door drijfhout, dit vergroot het faalrisico.
 Vanuit het oogpunt van drijfhout is het überhaupt niet wenselijk om de dammen aan te leggen met knijpende doorlaten. Voor beide varianten is daarom een goede houtvang essentieel, en dient een sleutelonderdeel te zijn van de volgende ontwerpfasen;
- de dam bij Valkenburg heeft qua beschikbare berging weinig tot geen effect in grote klimaatbuien. Echter heeft specifiek de dam bij Valkenburg een tweede functie, wanneer deze wordt gecombineerd met een tunnel. De dam verhoogt de maximale waterstand, waardoor de tunnelcapaciteit toeneemt. Wanneer zou worden besloten om de dammen niet aan te leggen omdat deze onvoldoende doelmatig zouden zijn, dient voor de locatie bij Valkenburg ook te worden afgewogen of de dam toch doelmatig is wanneer de functie van de dam alleen is het vergroten van de tunnelcapaciteit;
- wanneer wordt gekozen voor een regelbare doorlaat wordt aanbevolen om de regeling van de regelbare schuif zodanig te ontwerpen dat deze alleen de mechanische sluiting regelt, maar niet de mechanische opening van de schuif.

### 8.3 Conclusies en aanbevelingen schetsontwerp

In dit rapport is een eerste ontwerp gemaakt voor beide constructies op basis van vergelijkbare projecten en ervaringen. Hieruit volgt dat de dam volgens standaard ontwerp- en uitvoeringsprincipes kan worden gebouwd. Voor het doorlaatmiddel geldt dat de doorlaatkoker en de fundering in het werk gestort moeten worden, wat betekent dat deze in den droge uitgevoerd moet worden. Hierdoor zullen er aanvullende bouwkosten gemaakt moeten worden, maar dit is zeker realiseerbaar. Voor een regelbaar kunstwerk zijn in deze rapportage mogelijke opties en uitwerkingen gegeven waar in een volgende fase verdere uitwerking aan gegeven moet worden. Er is voor deze rapportage een uitwerking gemaakt van één type doorlaat. Voor de kosten is een inschatting gemaakt voor de directe bouwkosten van de Dam, Overlaat en Doorlaatkoker (exclusief tijdelijke voorzieningen en regelwerk). Het betreft een bedrag van circa 1 MEUR voor de Volmolen en circa 0.5 MEUR voor Valkenburg (+/- 50 %). Voor het regelwerk is de inschatting gezien de onzekerheden in de uitwerking van de schuif en het hefmiddel een stuk onzekerder. Op basis van kennis en ervaring is een ordegrootte van 0.5 - 1 MEUR gegeven. Hiermee komen de totale kosten op 1.5 - 2 MEUR voor de Volmolen en 1 - 1.5 MEUR voor Valkenburg. Voor de onderbouwing en posten die hierin zijn uitgesloten, wordt verwezen naar het betreffende hoofdstuk.

Voor de vervolgfases van het ontwerp worden de volgende aandachtspunten meegegeven:

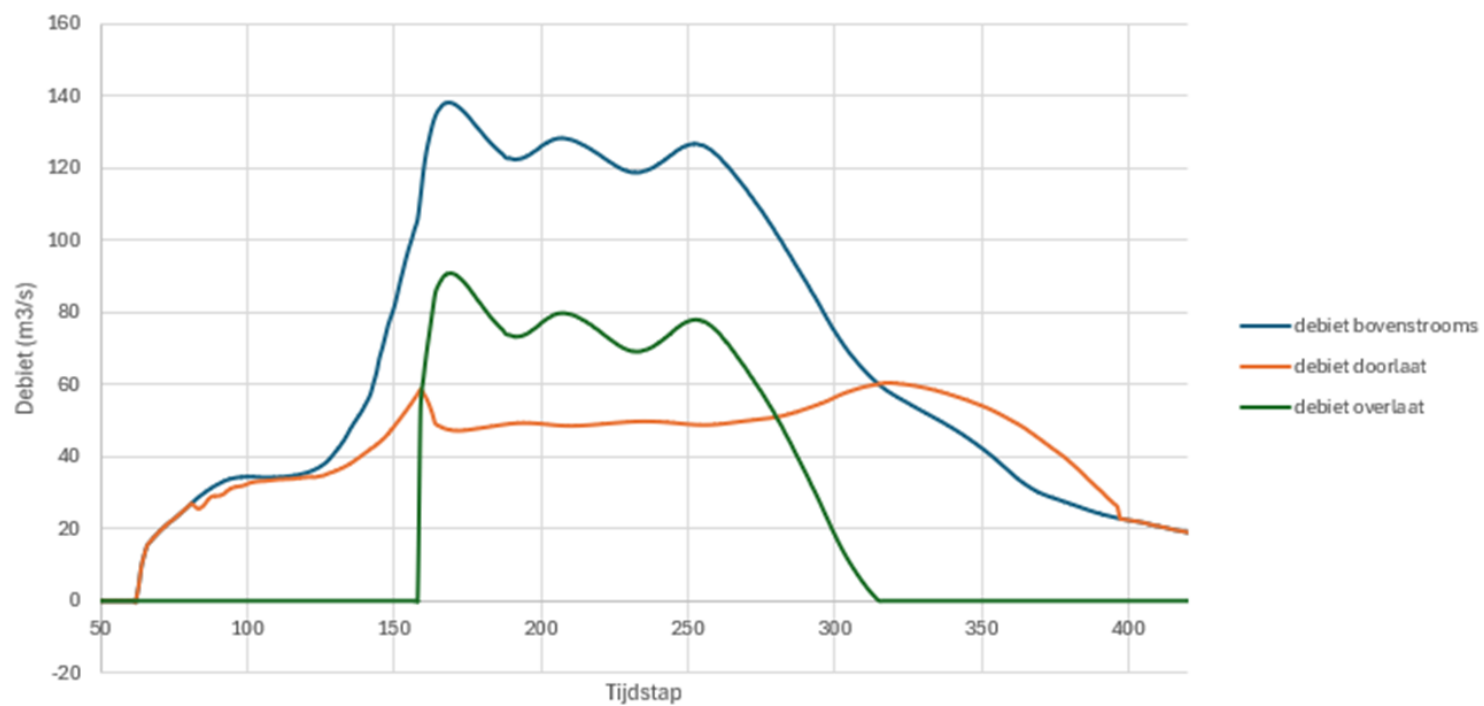
- berekening sterkte doorlaatkoker;
- grondonderzoek t.b.v. funderingsontwerp;
- beheersen of voorkomen van drijfvuil en drijf hout;
- indien gekozen wordt voor een regelbare overlaat:
  - uitwerking van het hefmechanisme;
  - elektrotechnische besturing;
  - bereikbaarheid locatie voor onderhoud;
  - ontwerp staalconstructie van de hefdeur.

Voor de realisatie van de dalbodemberging is in de verkenning onderzoek gedaan naar de kaders en omgevingsaspecten waarbinnen dit kan worden uitgevoerd. Er is een inventarisatie gemaakt van mogelijke knelpunten voor de constructie van een dam bij Valkenburg en Volmolen. Bij deze inventarisatie is gekeken naar natuurgebieden, perceelgegevens, objecten met een monumentale waarde en gebieden met een specifieke archeologische waarde. Daarnaast is overkoepelend voor beide projecten gekeken naar de mogelijke vergunningen die aangevraagd moeten worden. Uit de analyse blijkt dat er geen grote showstoppers zijn voor de realisatie van de dalbodemberging. Er zijn wel enkele aandachtspunten, waarvan de voornaamste is de doorkruising van de dam bij het Kasteel Oost in Valkenburg.

# Bijlage(n)

## BIJLAGE: AFVOERGOLF 1 LOCATIE VALKENBURG - VASTE DOORLAAT

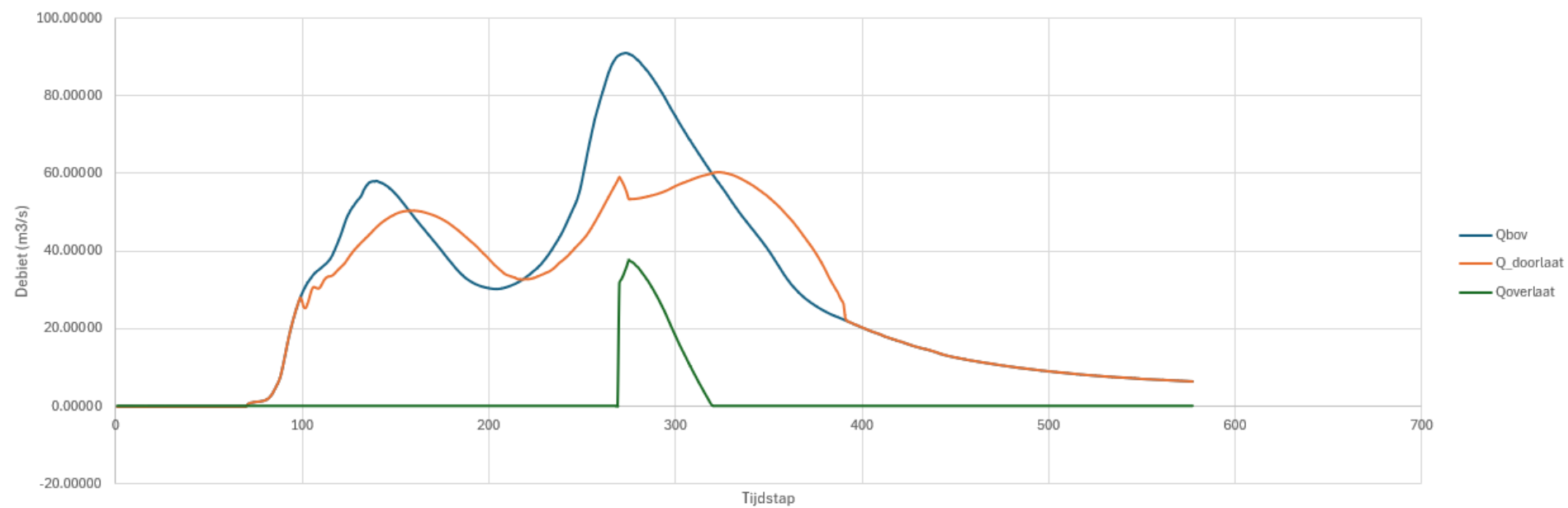
Afbeelding I.1 Debiet bovenstrooms van dam, door doorlaat en over overlaat (afvoergolf 1)





## BIJLAGE: AFVOERGOLF 2 LOCATIE VALKENBURG - VASTE DOORLAAT

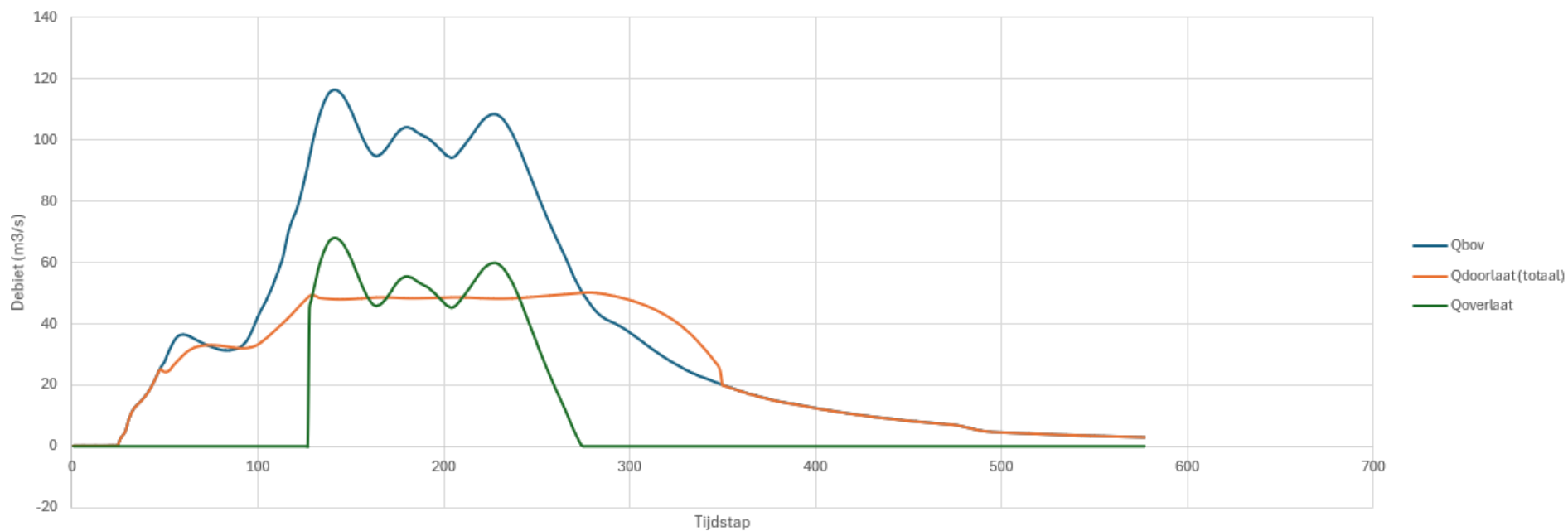
Afbeelding II.1. Debiet bovenstrooms van dam, door doorlaat en over overlaat (afvoergolf 2)





## BIJLAGE: AFVOERGOLF 1 LOCATIE VOLMOLEN - VASTE DOORLAAT

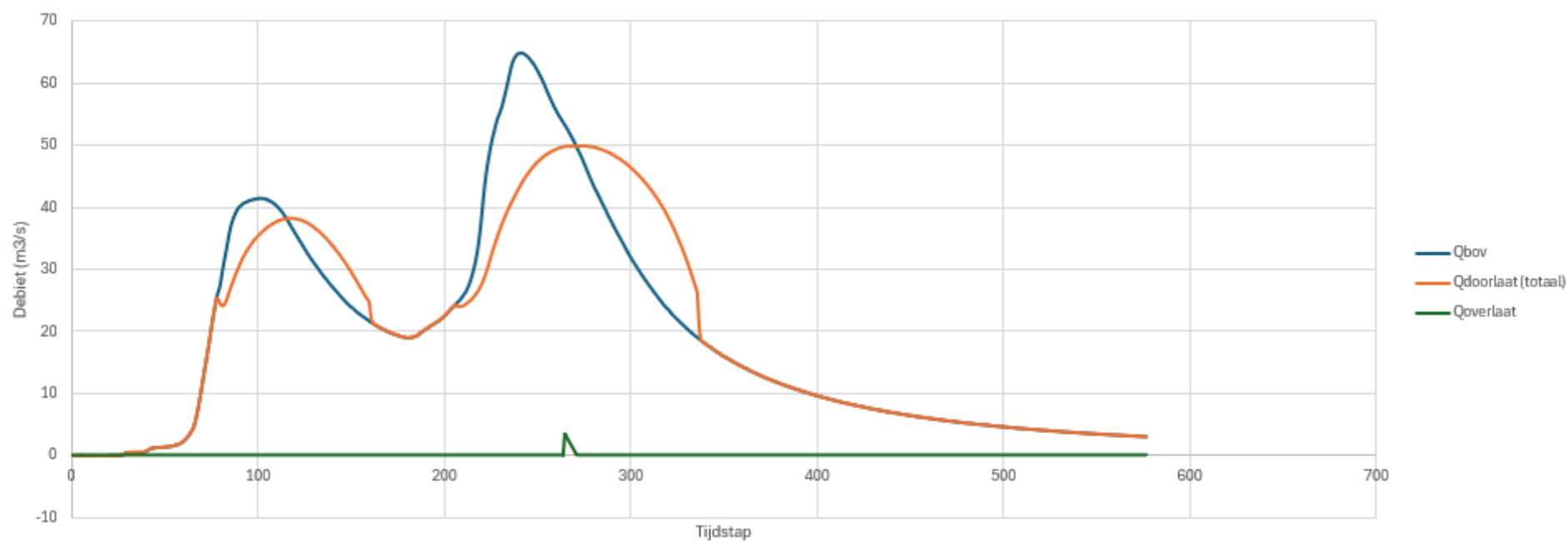
Afbeelding III.1 Debiet bovenstrooms van dam, door doorlaat en over overlaat (afvoergolf 1)



# IV

## BIJLAGE: AFVOERGOLF 2 LOCATIE VOLMOLEN - VASTE OF DOORLAAT

Afbeelding IV.1 Debiet bovenstrooms van dam, door doorlaat en over overlaat (afvoergolf 2)





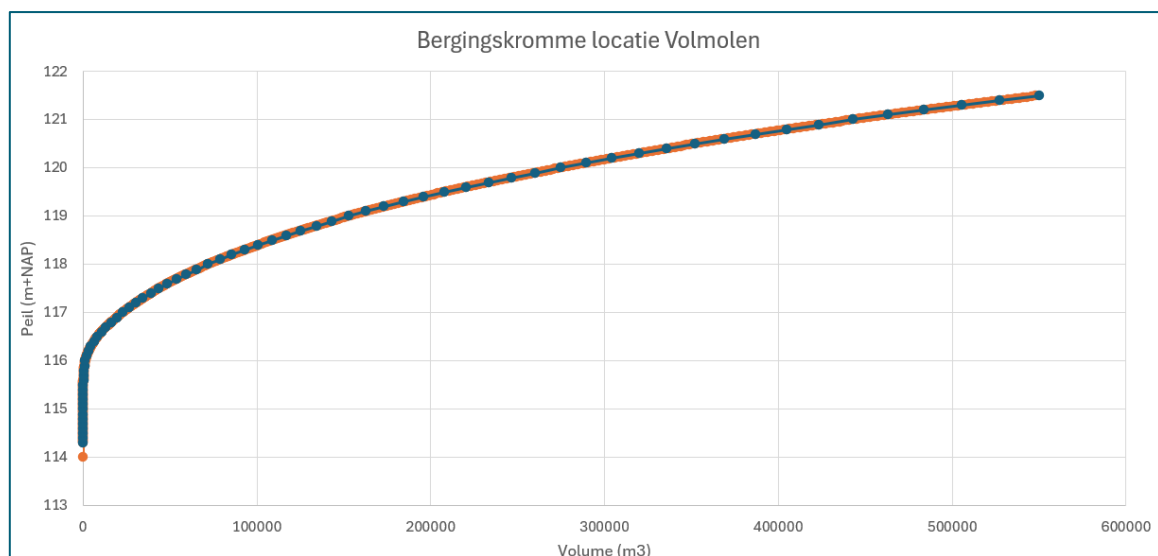
## BIJLAGE: BERGINGSKROMME LOCATIE VOLMOLEN

Tabel V.1 Relatie waterhoogte - bergingsvolume

| Waterhoogte [m+NAP] | Volume berging [m³] |
|---------------------|---------------------|
| 114.3               | 0                   |
| 114.4               | 0                   |
| 114.5               | 3                   |
| 114.6               | 7                   |
| 114.7               | 15                  |
| 114.8               | 26                  |
| 114.9               | 43                  |
| 115                 | 67                  |
| 115.1               | 100                 |
| 115.2               | 141                 |
| 115.3               | 195                 |
| 115.4               | 260                 |
| 115.5               | 341                 |
| 115.6               | 439                 |
| 115.7               | 567                 |
| 115.8               | 749                 |
| 115.9               | 1032                |
| 116                 | 1506                |
| 116.1               | 2263                |
| 116.2               | 3329                |
| 116.3               | 4724                |
| 116.4               | 6442                |
| 116.5               | 8464                |
| 116.6               | 10784               |

| Waterhoogte [m+NAP] | Volume berging [m³] |
|---------------------|---------------------|
| 116.7               | 13417               |
| 116.8               | 16350               |
| 116.9               | 19550               |
| 117                 | 22987               |
| 117.1               | 26641               |
| 117.2               | 30519               |
| 117.3               | 34656               |
| 117.4               | 39076               |
| 117.5               | 43790               |
| 117.6               | 48766               |
| 117.7               | 54041               |
| 117.8               | 59691               |
| 117.9               | 65720               |
| 118                 | 72104               |
| 118.1               | 78819               |
| 118.2               | 85826               |
| 118.3               | 93153               |
| 118.4               | 100792              |
| 118.5               | 108725              |
| 118.6               | 116950              |
| 118.7               | 125484              |
| 118.8               | 134314              |
| 118.9               | 143478              |
| 119                 | 153043              |
| 119.1               | 163037              |
| 119.2               | 173463              |
| 119.3               | 184418              |
| 119.4               | 195949              |
| 119.5               | 208035              |
| 119.6               | 220566              |
| 119.7               | 233452              |
| 119.8               | 246706              |
| 119.9               | 260449              |
| 120                 | 274703              |

| Waterhoogte [m+NAP] | Volume berging [m³] |
|---------------------|---------------------|
| 120.1               | 289370              |
| 120.2               | 304421              |
| 120.3               | 319868              |
| 120.4               | 335751              |
| 120.5               | 352196              |
| 120.6               | 369237              |
| 120.7               | 386852              |
| 120.8               | 405002              |
| 120.9               | 423652              |
| 121                 | 442969              |
| 121.1               | 463133              |
| 121.2               | 484022              |
| 121.3               | 505499              |
| 121.4               | 527539              |
| 121.5               | 550198              |



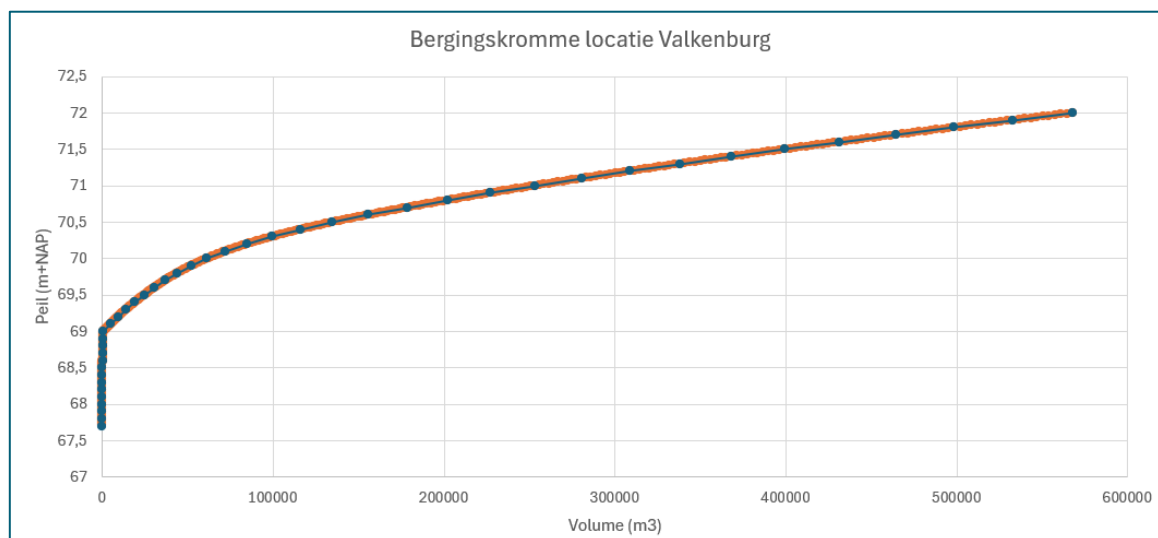
# VI

## BIJLAGE: BERGINGSKROMME LOCATIE VALKENBURG

Tabel VI.1 Relatie waterhoogte - bergingsvolume

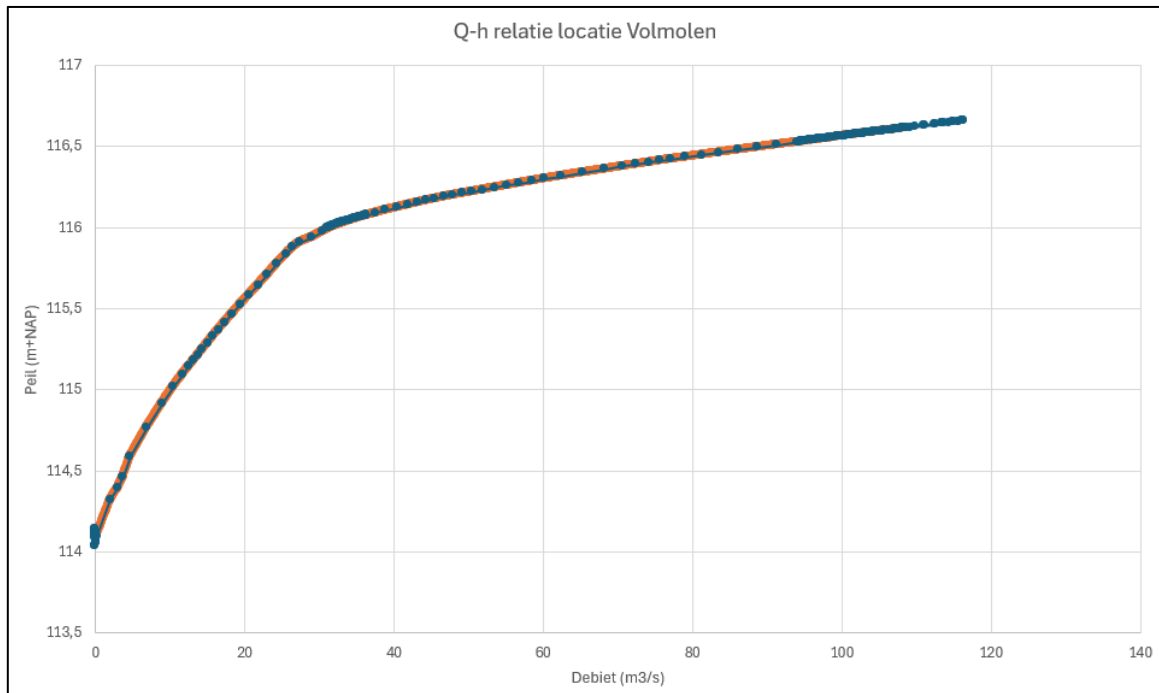
| Waterhoogte [m+NAP] | Volume berging [m <sup>3</sup> ] |
|---------------------|----------------------------------|
| 67.8                | 0                                |
| 67.9                | 1                                |
| 68                  | 5                                |
| 68.1                | 16                               |
| 68.2                | 33                               |
| 68.3                | 55                               |
| 68.4                | 84                               |
| 68.5                | 123                              |
| 68.6                | 180                              |
| 68.7                | 258                              |
| 68.8                | 358                              |
| 68.9                | 483                              |
| 69                  | 650                              |
| 69.1                | 4922                             |
| 69.2                | 9340                             |
| 69.3                | 13988                            |
| 69.4                | 19089                            |
| 69.5                | 24587                            |
| 69.6                | 30452                            |
| 69.7                | 36827                            |
| 69.8                | 43932                            |
| 69.9                | 52026                            |
| 70                  | 61317                            |
| 70.1                | 72033                            |
| 70.2                | 84597                            |

| Waterhoogte [m+NAP] | Volume berging [m³] |
|---------------------|---------------------|
| 70.3                | 99342               |
| 70.4                | 116180              |
| 70.5                | 134677              |
| 70.6                | 155892              |
| 70.7                | 178268              |
| 70.8                | 201964              |
| 70.9                | 226953              |
| 71                  | 253143              |
| 71.1                | 280429              |
| 71.2                | 308667              |
| 71.3                | 337862              |
| 71.4                | 368096              |
| 71.5                | 399345              |
| 71.6                | 431563              |
| 71.7                | 464619              |
| 71.8                | 498390              |
| 71.9                | 532865              |
| 72                  | 568168              |

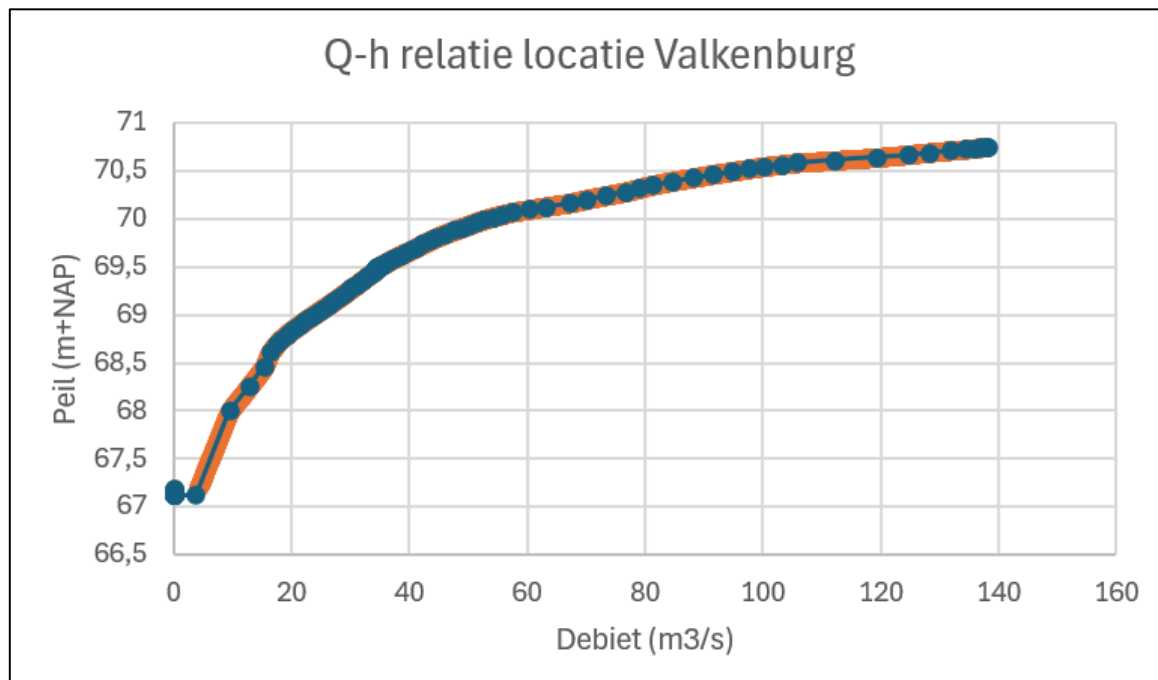


# VII

## BIJLAGE: Q-H RELATIE LOCATIE VOLMOLEN



## BIJLAGE: Q-H RELATIE LOCATIE VALKENBURG



# IX

## BIJLAGE: D-HYDRO MODELLERING VASTE EN REGELBARE DOORLAAT

In deze studie is de het effect van een doorlaat op het beschikbare bergingsvolume bepaald met behulp van een eendimensionale analytische methode. Aangeraden wordt om in een eventuele vervolgstudie gebruik te maken van een numeriek model, zoals D-HYDRO. Op verzoek van WRL in deze bijlage beschreven hoe een doorlaat in D-HYDRO kan worden gemodelleerd.

### IX.1 Beschrijving D-Hydro modellering

Deze beschrijving gaat ervan uit dat aanpassingen worden doorgevoerd in een bestaand D-HYDRO (DIMR) model van de Geul dat is opgebouwd met behulp van een modelbouwsript. Het wordt niet aangeraden om aanpassingen door te voeren via de GUI. Het DIMR model kan worden ingeladen in de D-Hydro GUI. De ontwikkelingen binnen de GUI lopen echter niet synchroon met de ontwikkelingen binnen het D-HYDRO rekenhart. Er zijn meer functionaliteiten beschikbaar in het rekenhart dan in de GUI. Bij inladen en opslaan van een model via de GUI kunnen functionaliteiten en instellingen verloren gaan.

Er zijn verschillende manieren om een vaste of regelbare doorlaat toe te voegen aan reeds bestaande watergangen binnen een D-Hydro (DIMR) model. Hieronder worden twee manieren beschreven. Indien de kunstwerken worden toegevoegd in nieuwe branches kan dit alleen via de databank en het modelbouwsript (methode 1) en moet het hele model opnieuw worden gegenereerd.

*Let op: Alle geel gearceerde statements met blokhaken in onderstaande paragrafen moeten worden ingevuld.*

#### Methode 1: via databank en modelbouwsript

De netste manier om het model aan te passen is via de databank en het modelbouwsript. Merk op dat het erg belangrijk is om in een logboek bij te houden met welke versie van de databank, modelbouwsript en D-Hydro versie een model is opgebouwd. Het modelbouwsript gebruikt gegevens uit een databank om een D-Hydro DIMR model op te bouwen. Het idee achter deze methodiek is dat eenduidig een model kan worden opgesteld vanuit brondata, zoals de legger. Als de brondata verandert, dan kan via exact dezelfde methodiek een nieuw referentiemodel worden gegenereerd. Afhankelijk van het type aanpassing kan worden overwogen om de aanpassingen door te voeren in een kopie van het originele bestand binnen de databank. De verwijzing naar het bestand moet dan ook worden aangepast binnen het modelbouwsript.

De eerste stap binnen deze methode is om de kunstwerken toe te voegen. De volgende wiki kan behulpzaam zijn: <https://hkvconfluence.atlassian.net/wiki/spaces/DHYD/pages/222658592/1D+model>. In deze wiki staan per modelobject de benodigde HyDAMO objecten aangegeven en hoe attributen van deze objecten aan elkaar zijn gelinkt.

Kunstwerken (zoals een duiker, doorlaat en overlaat) moeten aan verschillende layers binnen de HyDAMO geopackages worden toegevoegd. De locatie van deze geopackage:

Databank>>1D\_Data>>HyDAMO\_2\_2\_GEU\_[naam].gpkg

De doorlaat wordt toegevoegd aan de volgende layers binnen deze geopackage:

- Stuw (point shape): intekenen in GIS en attributes invullen;
- Kunstwerkopening (tabel): feature toevoegen en attributes invullen;
- Regelmiddel (point shape): intekenen in GIS en attributes invullen.

De overlaat wordt toegevoegd aan de volgende layers binnen deze geopackage:

- Stuw (point shape): intekenen in GIS en attributes invullen;
- Kunstwerkopening (tabel): feature toevoegen en attributes invullen;
- Regelmiddel (point shape): intekenen in GIS en attributes invullen.

Een duiker wordt toegevoegd aan de volgende layers binnen deze geopackage:

- DuikerSifonHevel (line shape): intekenen in GIS en attributes invullen;
- Regelmiddel (point shape) indien gekoppeld aan een regelmiddel: intekenen in GIS en attributes invullen.

Voor uitleg over invulling en koppeling tussen de verschillende attributen wordt verwezen naar bovengenoemde wiki.

Bij het toevoegen van kunstwerken, met name (lange) duikers, kan het nodig zijn om 1D2D links te verwijderen, omdat er anders mogelijk een lek kan ontstaan via het 2D model. Dit kan door in GIS polygoenen toe te voegen aan de volgende shape:

**Databank>>2D\_Data>> 1d2dlinks\_verwijder\_poly.shp**

Na aanpassing van de databank en eventueel verwijzingen binnen het modelbouwsript wordt het script opnieuw gerund om een nieuw model aan te maken. Houdt er rekening dat het runnen van het script lang kan duren.

Helaas zijn de functionaliteiten binnen het modelbouwsript nog niet allesomvattend. Nadat het model via het modelbouwsript is gegenereerd moeten er nog een aantal onderdelen in de achtergrond van het DIMR model worden toegevoegd. Uiteraard is dit ook te automatiseren met het modelbouwsript:

- rr en rtc map uit het originele model kopiëren (locatie: **[naam DIMR-model]>>rr, [naam DIMR-model]>>rtc**);
- .xml, .nc en bat files uit het originele model kopiëren (deze files zitten in dezelfde map als de rr en rtc map). De .xml file beschrijft welke modelcomponenten actief zijn en welke modelcomponenten gekoppeld zijn. Dit bestand vormt de basis om het model te runnen;
- als de afvoer door de doorlaat moet worden gelimiteerd, moet dit nog worden geactiveerd in het structure.ini bestand door deze optie van het kunstwerk op 'True' in te stellen en een waarde toe te kennen waarbij dit in werking treedt (zie paragraaf hieronder). Deze optie is (nog) geen onderdeel van de databank en wordt dus niet automatisch toegevoegd. Eventueel zou dit apart kunnen worden ingebouwd in het modelbouwsript.

Binnen het project Bypass Valkenburg zijn ook de volgende onderdelen nog toegevoegd in de achtergrond van het model. Dit is ook te automatiseren in het modelbouwsript:

- de maxima.fou file binnen de **[naam DIMR-model]>>fm** folder om de maximum resultaten gedurende doorgerekende periode weg te schrijven in de FlowFM\_fou.nc;
- er waren 2D observational cross section toegevoegd aan het model om de afvoer langs een 2D doorsnede te kunnen registreren. De 2D observational cross sections worden beschreven in een apart .pli bestand. De verwijzing naar dit .pli bestand dient ook te worden toegevoegd aan de .mdu file. Deze bestanden zijn te vinden in de **[naam DIMR-model]>>fm** folder;

## Methode 2: via achtergrond bestanden in het DIMR model

Aangezien er een databank met modelbouwsript beschikbaar is heeft deze methode niet de voorkeur. Door het modelbouwsript en de databank te omzeilen kan het zijn dat bepaalde ontwikkelingen van het script of aanpassingen van het watersysteem (bijvoorbeeld in de Legger) niet worden geborgd/gelogd. In sommige

gevallen kan deze methode wel een snelle oplossing bieden (bijvoorbeeld bij het verkennen van maatregelen ten opzichte van een referentiesituatie).

Een (perfect) geregelde doorlaat en/of een overlaat kan simpelweg worden toegevoegd aan de structure.ini. Dit bestand is te vinden op de volgende locatie in het DIMR-model:

```
[naam DIMR-model]>>fm
```

Ook alle andere bestanden waar in deze paragraaf naar wordt verwezen zijn in deze fm folder te vinden.

Een doorlaat kan met het volgende blok worden toegevoegd aan de structure.ini:

```
[Structure]
id           = [naam doorlaat]
name         = id
type         = orifice
branchId     = [id van branch waarop doorlaat ligt, bijv. W_162_1]
chainage     = [afstand vanaf begin branch waar doorlaat ligt, bijv.
90.169]
allowedFlowDir = both
crestLevel   = [kruinhoogte, bijv. 67.0]
crestWidth   = [breedte doorlaat]
gateLowerEdgeLevel = [hoogte onderkant gate opening, bijv. 69.0]
corrCoeff    = 1.0
useVelocityHeight = 1
useLimitFlowPos = [indien afvoer moet worden gelimiteerd True anders False]
limitFlowPos = [afvoer waarop doorlaat wordt gelimiteerd]
useLimitFlowNeg = 0
limitFlowNeg  = 0.0
```

Voor een overlaat dient het volgende blok te worden toegevoegd aan de structure.ini:

```
[Structure]
id           = [naam overlaat]
name         = id
type         = weir
branchId     = [id van branch waarop overlaat ligt]
chainage     = [afstand vanaf begin branch waar overlaat ligt]
allowedFlowDir = both
crestLevel   = [kruinhoogte, bijv. 71.0]
crestWidth   = [breedte overlaat, bijv. 30.0]
corrCoeff    = 1.0
useVelocityHeight = 1
```

Een vaste doorlaat met een gegeven inlaat, uitlaat en wrijvingsverlies kan worden toegevoegd aan de structure.ini als duiker met het volgende blok:

```
[Structure]
id           = [naam duiker]
name         = id
type         = culvert
branchId     = [id van branch waarop duiker ligt]
chainage     = [afstand vanaf begin branch waar duiker ligt]
allowedFlowDir = both
leftLevel    = [inlet level]
rightLevel   = [outlet level]
```

```

csDefId      = [naam cross section definitie, bijv. crs_duiker1]
length       = [lengte duiker]
inletLossCoeff = [inlaatverlies]
outletLossCoeff = [uitlaatverlies]
valveOnOff    = 0
valveOpeningHeight = 0.0
bedFrictionType = [type ruwheid, bijv. Manning]
bedFriction    = [ruwheidswaarde, bijv. 0.01497]
subType       = culvert

```

In het project bypass Valkenburg waren de inlaat, uitlaat en weerstandsverliezen allen verdisconteerd in de Manning-ruwheid. Zoals hierboven te zien kunnen deze ook afzonderlijk worden opgegeven. Voor een duiker is een profieldefinitie benodigd. Deze staat in het crsdef.ini bestand. Er moet een blok met de profieldefinitie van deze duiker worden toegevoegd:

```

[Definition]
id      = [naam cross section definitie, bijv. crs_duiker1]
type    = circle
thalweg = 0.0
diameter = [diameter duiker, bijv. 3.5]
frictionId = [Naam 1D frictie definitie, bijv. Manning_0.01497]

```

Een rechthoekige profiel definitie is ook mogelijk, het tekstblok ziet er dan als volgt uit:

```

[Definition]
id      = [naam cross section definitie, bijv. crs_duiker1]
type    = rectangle
thalweg = 0.0
width   = [breedte duiker, bijv. 4]
height  = [hoogte duiker, bijv. 0.5]
closed  = 1
frictionId = [Naam 1D frictie definitie, bijv. Manning_0.01497]

```

De frictionId moet terugkomen in de ruwheidsdefinities (files te herkennen aan roughness\_#.ini). De inhoud van de file is als volgt:

```
# written by HYDROLIB-core 0.8.1
```

```

[General]
fileVersion      = 3.01      # File version. Do not edit this.
fileType         = roughness # File type. Should be 'roughness'. Do not edit
this.

```

```

[Global]
frictionId      = [Naam 1D frictie definitie, bijv. Manning_0.01497]
frictionType    = [Type frictie, bijv. Manning]
frictionValue   = [Waarde frictie, bijv. 0.01497]

```

De ruwheidsdefinitie moet weer worden aangeroepen binnen de DFM.mdu file bij het blok [Geometry], regel frictFile:

```

frictFile      =
roughness_0.ini;roughness_1.ini;roughness_2.ini;roughness_3.ini;roughness_4.ini;r
oughness_5.ini;roughness_6.ini;roughness_7.ini;roughness_8.ini;roughness_9.ini

```

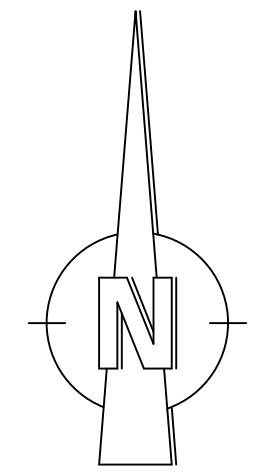
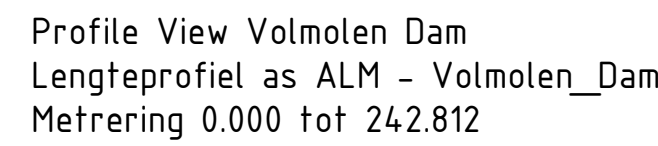
```
# Location of the files with roughness data for 1D.
```

Als deze aanpassingen zijn doorgevoerd kan het DIMR-model opnieuw worden gerund.



## BIJLAGE: TEKENING SCHETSONTWERP VOLMOLEN

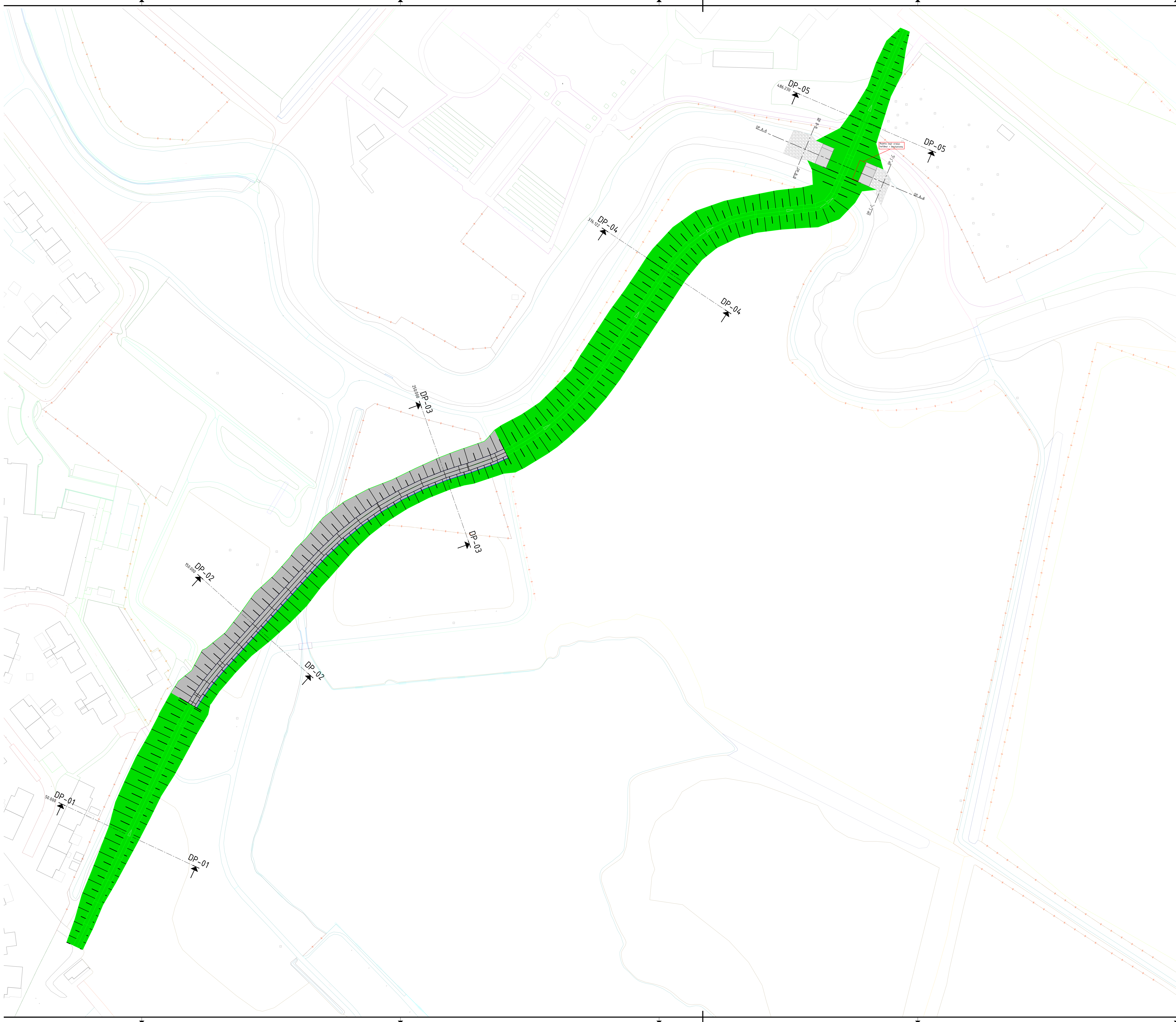




Witteveen+Bos Raadgevende Ingenieurs B.V. | Deventer  
 Postbus 9 | Postbus 222 | 7600 AE Deventer | +31 (0)570 60 70 55 | [info@witteveenbos.com](mailto:info@witteveenbos.com) | KvK 20130751

# XI

## BIJLAGE: TEKENING SCHETSONTWERP VALKENBURG



#### LEGENDA

- Bodembescherming 10-60 kg breuksteen
- Klei CAT-2 of hoger
- Dijkbekleding 10-60 kg breuksteen

#### OPMERKINGEN

- Maten in meters (m), tenzij anders vermeld;
- Hoogtematen in meters (m) ten opzichte van N.A.P., tenzij anders vermeld;
- Hoekmaten in graden (360°), tenzij anders vermeld;
- Coördinaten in meters (m) in het RD-stelsel (Netherlands-RD, oblique stereographic projection).

#### BIJBEHORENDE TEKENINGEN

Tekeningnummer Omschrijving

0 0.01 0.02 0.03 0.04m  
SCHAAAL 1:1

**Witteveen** **Bos**

Wijz. Getekend Datum Omschrijving  
A  
B  
C

Opdrachtgever  
**WRL**  
Project  
**Dalbodemberg**  
**Schetsonwerp**  
Onderdeel  
**Dam Valkenburg**  
**Detailomschrijving**

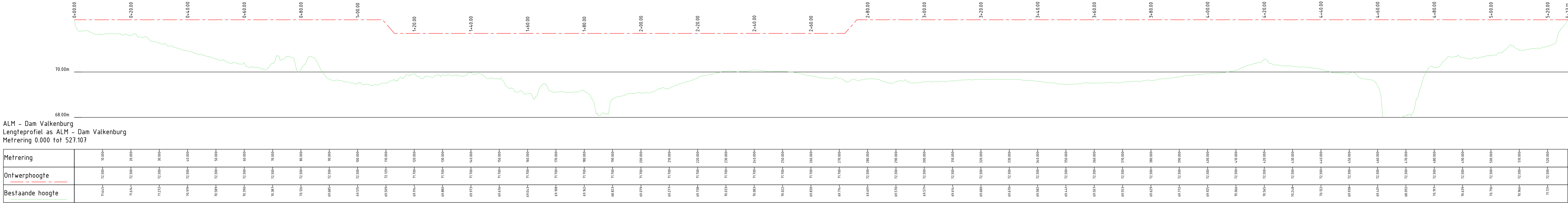
|         |                       |               |                |                   |
|---------|-----------------------|---------------|----------------|-------------------|
| Status  | Document in bewerking | Getekend      | Gecontroleerd  | F.D.C. Ommert MSc |
| Datum   | 21-01-2026            | Gecontroleerd | Goedgekeurd    | ir. R.B.M. Peters |
| Formaat | Schaa                 | Projectcode   | Tekeningnummer | Bladnummer        |
| A0      | 1:500                 | 147535        | 7010           | 1/3               |

Witteveen+Bos Raadgevende Ingenieurs B.V. | Deventer  
Leuvenlaan 8 | Postbus 220 | 7400 AD Deventer | +31 (0)570 69 70 11 | [www.witteveenbos.com](http://www.witteveenbos.com) | [info@witteveenbos.com](mailto:info@witteveenbos.com)

Revisiedatum: 1/06/2026 4:22

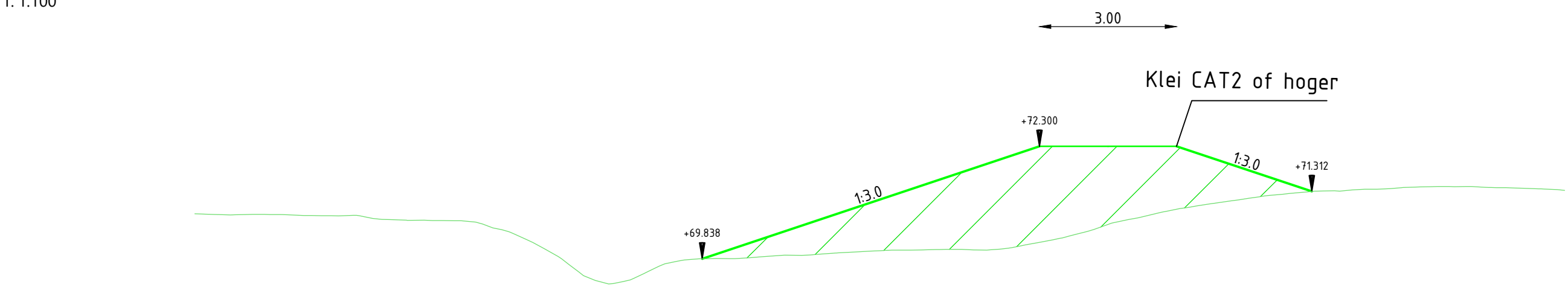
Lengteprofiel

Schaal 1: 500



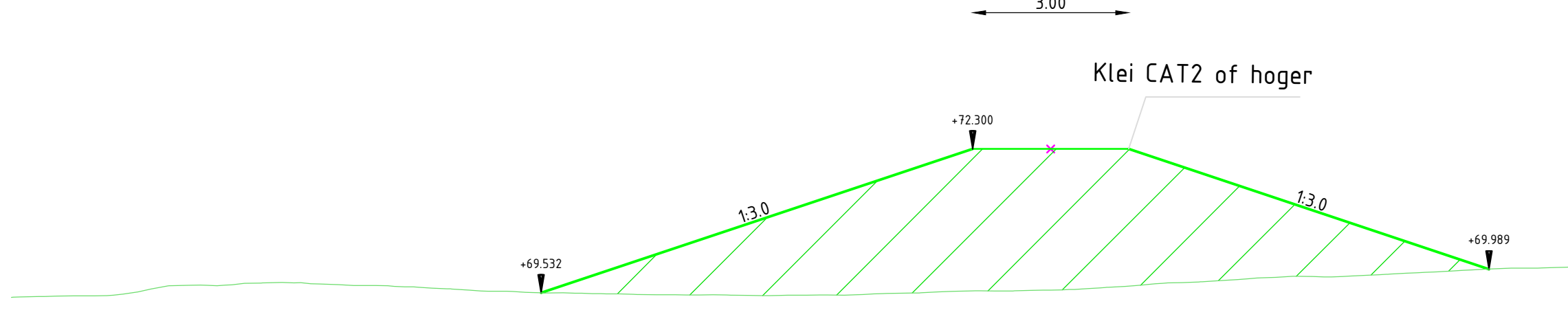
Dwarsprofielen

Schaal 1: 1:100



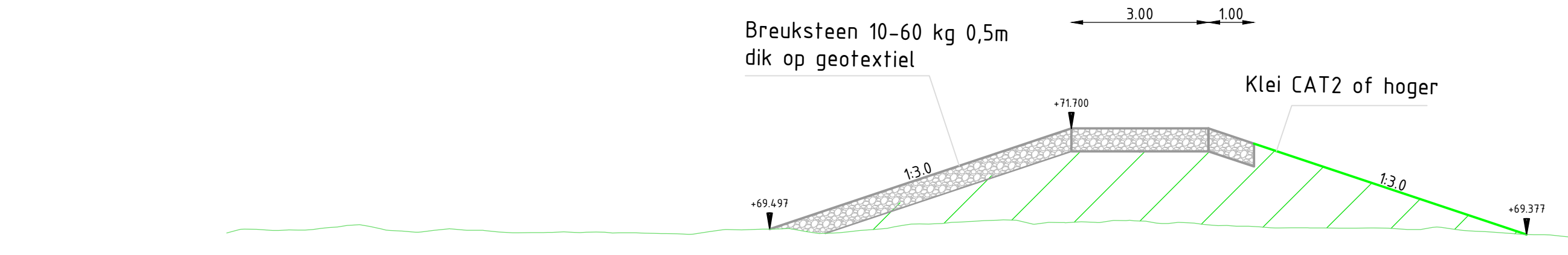
Dwarsprofiel DP-01  
t.o.v. as ALM - Dam Valkenburg  
bij metring 50.000  
Schaal 1:250

|                 |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Hoogte bestaand | 71.300 | 69.810 | 71.300 | 71.300 | 71.300 |
| Afstand ontwerp | 0.00   | 8.80   | 0.00   | 4.40   | 0.00   |
| Hoogte ontwerp  | 71.300 | 69.810 | 71.300 | 71.300 | 71.300 |



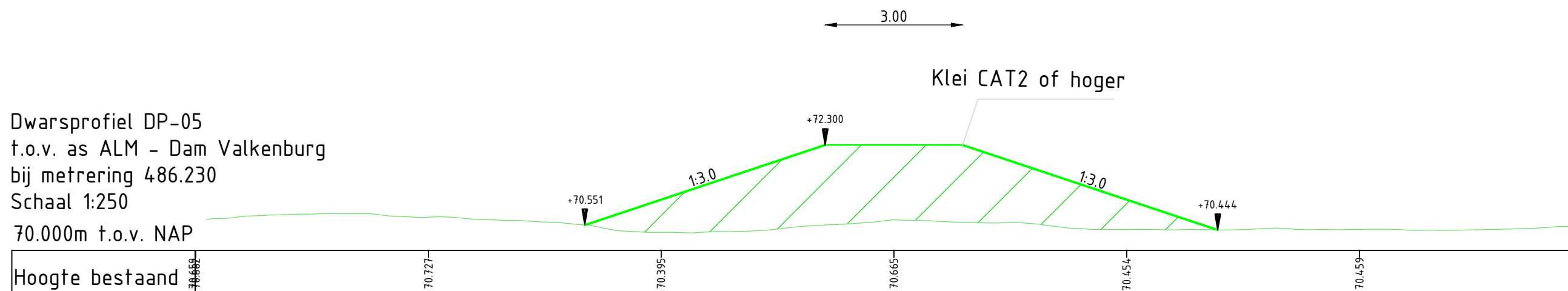
Dwarsprofiel DP-04  
t.o.v. as ALM - Dam Valkenburg  
bij metring 376.122  
Schaal 1:250

|                 |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Hoogte bestaand | 69.810 | 69.810 | 69.810 | 69.810 | 69.810 |
| Afstand ontwerp | 0.00   | 8.80   | 0.00   | 4.40   | 0.00   |
| Hoogte ontwerp  | 69.810 | 69.810 | 69.810 | 69.810 | 69.810 |



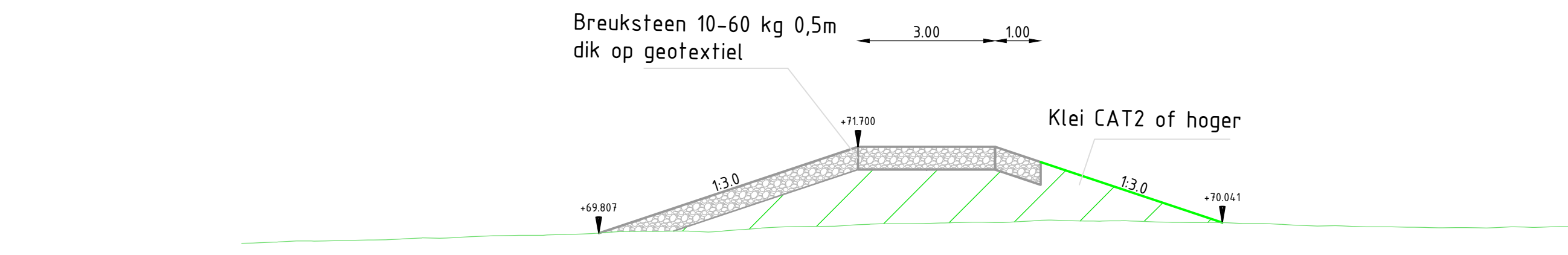
Dwarsprofiel DP-02  
t.o.v. as ALM - Dam Valkenburg  
bij metring 150.000  
Schaal 1:250

|                 |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Hoogte bestaand | 69.810 | 69.810 | 69.810 | 69.810 | 69.810 |
| Afstand ontwerp | 0.00   | 8.80   | 0.00   | 4.40   | 0.00   |
| Hoogte ontwerp  | 69.810 | 69.810 | 69.810 | 69.810 | 69.810 |



Dwarsprofiel DP-05  
t.o.v. as ALM - Dam Valkenburg  
bij metring 486.230  
Schaal 1:250

|                 |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Hoogte bestaand | 69.810 | 69.810 | 69.810 | 69.810 | 69.810 |
| Afstand ontwerp | 0.00   | 8.80   | 0.00   | 4.40   | 0.00   |
| Hoogte ontwerp  | 69.810 | 69.810 | 69.810 | 69.810 | 69.810 |



Dwarsprofiel DP-03  
t.o.v. as ALM - Dam Valkenburg  
bij metring 250.000  
Schaal 1:250

|                 |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Hoogte bestaand | 69.810 | 69.810 | 69.810 | 69.810 | 69.810 |
| Afstand ontwerp | 0.00   | 8.80   | 0.00   | 4.40   | 0.00   |
| Hoogte ontwerp  | 69.810 | 69.810 | 69.810 | 69.810 | 69.810 |

LEGENDA

- Dijkbekleding 10-60 kg breuksteen
- Aanvullen met klei CAT 2 of hoger
- Bestaande situatie
- Nieuwe situatie
- Ontwerp hoogte

OPMERKINGEN

- Maten in meters (m), tenzij anders vermeld.
- Hoogtematen in meters (m) ten opzichte van N.A.P., tenzij anders vermeld.
- Hoekmaten in graden (360°), tenzij anders vermeld.
- Coördinaten in meters (m) in het RD-stelsel (Netherlands-RD, oblique stereographic projection).

BIJBEHORENDE TEKENINGEN

Tekeningnummer Omschrijving

0 0.01 0.02 0.03 0.04m

SCHAAL 1:1

WitteveenBos

Wijze Getekend Datum Omschrijving

A B C

Opdrachtgever

Project

Onderdeel

Status

Datum

Formaat

Document in bewerking

21-01-2026

1:100

Getekend

Gecontroleerd

Projectcode

F.D.C. Ommert MSc

ir. R.B.M. Peters

147535

Tekeningnummer

Bladnummer

2/3

Document in bewerking

147535

7010

WitteveenBos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer

Leemvenging 6 | Postbus 233 | 7400 AE Deventer | +31 (0)570 69 79 11 | www.witteveenbos.com | Kvk 26020751

Pendulum 1060206 A22

